

ENTWICKLUNG UND UNTERSUCHUNG EINES
MASCHINENSYSTEMS ZUR HERSTELLUNG VON
GEKLEBTEM MEHRSCHEIBENISOLIERGLAS

Doktorarbeit
zur
Erlangung des Grades
Doktor-Ingenieur
der
Abteilung für Maschinenbau
der Ruhr-Universität Bochum

von
Dipl.-Ing. Dietrich Haensel
geboren in Dresden

Bochum 1978

1979

ENTWICKLUNG UND UNTERSUCHUNG EINES
MASCHINENSYSTEMS ZUR HERSTELLUNG VON
GEKLEBTEM MEHRSCHEIBENISOLIERGLAS

Doktorarbeit
zur
Erlangung des Grades
Doktor-Ingenieur
der
Abteilung für Maschinenbau
der Ruhr-Universität Bochum

von
Dipl.-Ing. Dietrich Haensel
geboren in Dresden

Bochum 1978



Doktorarbeit eingereicht am: 13. Dezember 1978
Tag der mündlichen Prüfung: 12. Februar 1979
Referent: o. Prof. Dr.-Ing. F. Jarchow
Korreferent: o. Prof. Dr.-Ing. H. Seifert

V o r w o r t

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Assistent am Lehrstuhl für Maschinenelemente und Getriebetechnik der Ruhr-Universität Bochum.

Meinem verehrten Lehrer, Herrn Prof. Dr.-Ing. F. Jarchow, gilt mein ganz besonderer Dank für die wissenschaftliche Betreuung und Förderung der vorliegenden Arbeit.

Herrn Prof. Dr.-Ing. H. Seifert danke ich für die Übernahme des Korreferats und die Anregungen aus seiner Vorlesung "Maschinenkonstruktion".

Großzügige finanzielle und sachliche Unterstützung erhielt ich von der Firma Glas- und Spiegelmanufactur AG, Gelsenkirchen. Besonders danke ich hierfür Herrn Direktor Dipl. rer. pol. H. Ringleben, seinerzeit Mitglied des Vorstands dieser Firma, und seinem Mitarbeiter, Herrn Dr. G. Termath.

Für die Hilfe bei der Erstellung von Konstruktionsunterlagen bin ich den ehemaligen Mitarbeitern des Lehrstuhls, Herrn Dipl.-Ing. W. Hempelmann und Herrn Dr.-Ing. R. Sturmth, zu Dank verpflichtet. Herr Dipl.-Ing. Kalali hat mir bei der Anfertigung des Rechenprogrammes zur Fourier-Synthese der Maschinenbewegung sehr geholfen. Den Mitarbeitern der Lehrstuhlwerkstatt, insbesondere ihrem Leiter, Herrn E. Dominiak, sei für den Aufbau der Versuchsanlage gedankt. Herrn R. Stüber danke ich ganz besonders für die große Hilfe bei der Bearbeitung von Konstruktionszeichnungen und bei der Versuchsdurchführung.

Bochum, im Dezember 1978

Dietrich Haensel



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41546402_0069

Inhalt	Seite
1. Einführung	3
2. Stand der Technik	4
2.1. Gelötete Mehrscheibenisolierrgläser	4
2.2. Verschmolzene Mehrscheibenisolierrgläser	6
2.3. Geklebte Mehrscheibenisolierrgläser	7
3. Entwicklung und Konstruktion	12
3.1. Konstruktionsmethodik	12
3.2. Aufgabenstellung und Anforderungsliste	15
3.3. Teilfunktionen und Funktionsstrukturen	17
3.4. Lösungsprinzipien und deren Kombination	24
3.4.1. Physikalische Analyse der Teilfunktion	24
3.4.2. Lösungsprinzipien für die Teilfunktionen	30
3.4.3. Prinzipkombinationen	37
3.5. Auswahl des Lösungskonzepts	40
3.5.1. Erarbeiten von Konzeptvarianten	40
3.5.2. Technisch-wirtschaftliches Bewerten der Konzeptvarianten	52
3.6. Entwurf und Konstruktion	52
3.6.1. Gesamtkonstruktion	52
3.6.2. Konstruktion der Kleberauftragsdüse	60
4. Antrieb und Steuerung des Verfahrens	65
4.1. Signalumsatz (Steuerung des Maschinensystems)	65
4.2. Energieumsatz (Antrieb des Maschinensystems)	71
5. Untersuchung des Maschinensystems	75
5.1. Kennfeld der hydrostatischen Gleitführung zum Kleberauftrag	76
5.2. Kinematik der Maschinenbewegung	81
5.3. Schwingungsanalyse der Maschinenbewegung	84

5.4. Einfluß der oberen Frequenzgrenze auf die Eckenkontur des Abstandshalters	91
5.5. Amplituden- und Phasenfrequenzgang des Systems Scheibenpaket-Kleberdüse	96
5.6. Schwenkbewegung und Klebermengenstrom an der Ecke	100
5.7. Kleberabtrennung an der Schlußecke	107
6. Untersuchung des Produkts	108
6.1. Testmethoden für Isolierglasscheiben	109
6.2. Ergebnis der Scheibenprüfung	112
7. Zusammenfassung	112
8. Schrifttum	114
9. Formelzeichen und Einheiten	116

1. Einführung

Mehrscheibenisolierverglas besteht aus zwei oder mehr Glasscheiben, die am Rande über Abstandhalter luftdicht miteinander verbunden sind. Zwischen den Scheiben befindet sich getrocknete Luft unter Umgebungsdruck. Zusammengehalten wird die Einheit von einer gelöteten, geklebten oder einer durch Verschmelzen der Glasscheiben hergestellten Randverbindung. Durch die eingeschlossene Luftschicht hat die Isolierglasscheibe wesentlich bessere Wärme- und Schalldämmeigenschaften als eine einfache Glasscheibe. Weil die Innenseiten der Glasscheiben nach der Herstellung nicht mehr zugänglich sind, muß ein Beschlagen durch Kondensation der in der Luft enthaltenen Feuchtigkeit bei allen vorkommenden Umgebungstemperaturen verhindert werden. Erreicht wird dies durch Trocknen der eingeschlossenen Luft, die nach Herstellung der Isolierglasscheibe einen Taupunkt weit unterhalb der auftretenden Temperaturen hat. Bei Fertigungs- und Einbaufehlern kann infolge Wasserdampfdiffusion durch die Randverbindung im Laufe mehrerer Jahre der Taupunkt der eingeschlossenen Luft bis in normale Temperaturbereiche ansteigen. Durch Kondensation der Luftfeuchtigkeit an der Scheibeninnenseite wird die Scheibe "blind" und damit gebrauchsunfähig. An die Dichtheitsanforderungen der Randverbindung werden also über Jahre hinaus beträchtliche Anforderungen gestellt.

Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, eine Produktionsmaschine zu entwickeln und zu untersuchen, mit der geklebtetes Mehrscheibenisolierverglas automatisch hergestellt werden kann. Zur Entwicklung und Konstruktion des Prototyps sollen wissenschaftliche Konstruktionsmethoden angewendet werden. Die Untersuchung soll einmal die Eigenschaften der Produktionsmaschine und zum anderen die des Produkts herausstellen.

2. Stand der Technik

Bei der Isolierglasherstellung werden drei grundsätzlich verschiedene Fertigungsverfahren angewandt, das Verfahren der Scheibenlötung, das der Verschmelzung beider Glasscheiben am Rande und das der Scheibenverklebung.

2.1. Gelötete Mehrscheibenisoliergläser

Die gesäuberte Glasscheibe wird in der Umgebung des Randes vorgewärmt. Anschließend spritzt man im Flammsspritzverfahren einen schmalen Streifen einer Kupferlegierung auf den Scheibenrand ringsum auf. Die Kupferlegierung ist mit einem geringen Anteil an Titan und Chrom legiert. Als wichtigste Eigenschaft neben der Haftung im Glas hat diese Legierung einen dem Glas fast gleichen Wärmeausdehnungskoeffizienten. Dies ist notwendig, damit sich bei Temperaturänderungen keine großen Dehnungsunterschiede und daraus resultierende Spannungen zwischen Glas und Aufspritzmetall ergeben können. Die aufgespritzte Randschicht ist anschließend zu verzinnen. Danach wird ein schmales Bleiband senkrecht auf die verzinnte Randschicht als Abstandshalter ringsum aufgelötet. Auf das Bleiband ist in einem weiteren Arbeitsschritt die ebenfalls verzinnte Gegenscheibe aufzulöten.

Nach dem Zusammenlöten wird das Bleiband an zwei diagonal gegenüberliegenden Seiten angebohrt, um den zwischen den Scheiben liegenden Raum mit vorgetrockneter Luft auszuspülen. Anschließend werden die Einfülllöcher wieder verschlossen. Die Isolierglasscheibe ist gebrauchsfertig.

Bild 1 zeigt einen Schnitt durch die gelötete Isolierglasscheibe.

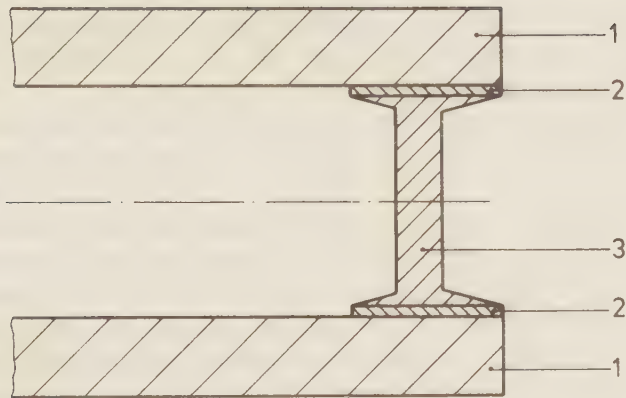


Bild 1 Gelötete Isolierglasscheibe im Schnitt
1 Glasscheiben; 2 Aufspritzmetallschicht;
3 Abstandshalter, mit 2 verlötet

Das Löten erfolgt ausschließlich in Handarbeit. Man hat überall versucht, diesen Prozeß zu automatisieren, die geforderte Poren- und Schlackeneinschlußfreiheit ist aber nicht erreichbar. Ein weiterer Nachteil liegt im - wenn auch geringen - Unterschied der Wärmeausdehnungskoeffizienten von Glas und Aufspritzmetall. Durch die ständigen Temperaturwechsel der Umgebung "lockert" sich die Haftung zwischen beiden Schichten. Infolge Wasserdampfdiffusion aus der Umgebung ins Scheibeninnere, unterstützt durch die Pumpwirkung der sich bei Luftdruckschwankungen wie eine Membran bewegenden Glasscheiben, steigt der Taupunkt allmählich an.

2.2. Verschmolzene Mehrscheibenisoliergläser

Diese, ganz aus Glas bestehenden Isoliergläser werden durch Verschmelzen der Glasscheiben am Rande hergestellt. Nach der Verschmelzung bohrt man den Rand an einigen Stellen wieder an und spült den Raum zwischen den Scheiben mit getrockneter Luft aus. Die Herstellung bereitet große Schwierigkeiten, besonders, wenn die Produktionsmaschine auf eine andere Scheibengröße umgestellt werden muß. Im Gegensatz zu den wählbaren Abmessungen bei den gelöteten und geklebten Scheiben sind die verschmolzenen Mehrscheibenisoliergläser nur in einigen Standardgrößen lieferbar. Wegen produktionstechnischer Schwierigkeiten hat man die Fertigung inzwischen wieder eingestellt. Bild 2 zeigt eine verschmolzene Isolierglasscheibe im Schnitt.

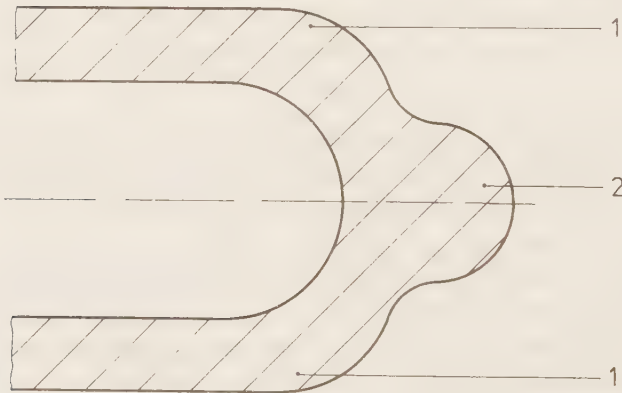


Bild 2 Verschmolzene Isolierglasscheibe im Schnitt
1 Glasscheiben; 2 Randverschmelzung

2.3. Geklebte Mehrscheibenisoliervgläser

Weil sich die Lötung mit ihren hohen Ansprüchen an Schlacken- und Porenfreiheit nach dem Stand der Technik nicht automatisieren läßt, wird seit einigen Jahren in teilautomatisierter Fertigung geklebtes Mehrscheibenisoliervglas hergestellt. Das endgültige Dichtkleben geschieht aber weiterhin in Handarbeit.

Bild 3 zeigt den Schnitt durch eine geklebte Isolierglasscheibe. Auf die gewaschene Glasscheibe wird ein mit einem Fixierkleber versehener Abstandshalter am Rande ringsum aufgesetzt. Die Außenmaße des geschlossenen Abstandshalters sind etwas geringer als die der zu verklebenden Scheiben. Nach dem Aufkleben der Gegenscheibe entsteht

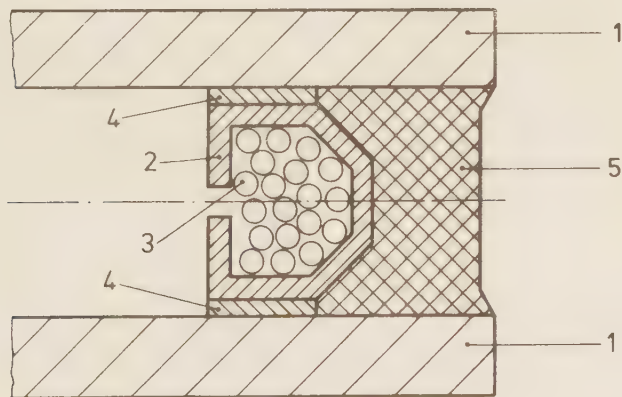


Bild 3 Geklebte Isolierglasscheibe im Schnitt
1 Glasscheiben; 2 Abstandshalter; 3 Trocken-
mittel; 4 Fixierklebschicht; 5 Klebdichtung

so ringsum eine etwa 5 mm tiefe Randfuge. Diese Fuge wird in Handarbeit mit einem Kleber ausgefüllt, und die Scheibe ist endgültig verschlossen. Um den Taupunkt der eingeschlossenen Luft abzusenken, wird die Luftfeuchtigkeit mit einem hygroskopischen Trockenmittel entfernt. Das Trockenmittel wird dazu vor dem Zusammenstecken in den hohlen, aus Blech geformten Abstandshalter eingefüllt.

Als Kleber für die Klebdichtung kommen heute hauptsächlich 2-Komponenten-Kleber zum Einsatz, die den Nachteil haben, daß sie nach der Aushärtung nicht wieder verwendet werden können. Diese Kleber werden von Hand in die zwischen den Glasscheiben und dem Abstandshalter vorhandene Randfuge eingebracht. Eine automatische Verklebung der Scheiben scheitert bisher an den relativ dünnflüssigen 2-Komponenten-Klebstoffen, die zudem erst nach mehreren Stunden aushärten. In neuerer Zeit kommen thermoplastische Schmelzkleber in Betracht, die in sehr kurzer Zeit fest werden und damit gute Voraussetzungen für die automatische Herstellung von Klebverbindungen mitbringen. Durch ihre dauerplastischen Eigenschaften sind die Einkomponenten-Schmelzkleber gut geeignet, die thermische Wechselbeanspruchung und daraus resultierende Wärmedehnungen zwischen Glas und Klebdichtung zu ertragen.

Das zu entwickelnde Maschinensystem soll innerhalb der gesamten Isolierglasherstellung die letzte Fertigungsstation sein. Bild 4 zeigt schematisch eine vollständige Fertigungsanlage für geklebtes Mehrscheibenisolierverglasungsglas.

Die auf Maß zugeschnittenen Glasscheiben werden vom Zwischenspeicher genommen, in der Waschmaschine gesäubert und anschließend getrocknet. Es schließt sich eine visuelle Sauberkeits- und Fehlerhaftigkeitskontrolle an.

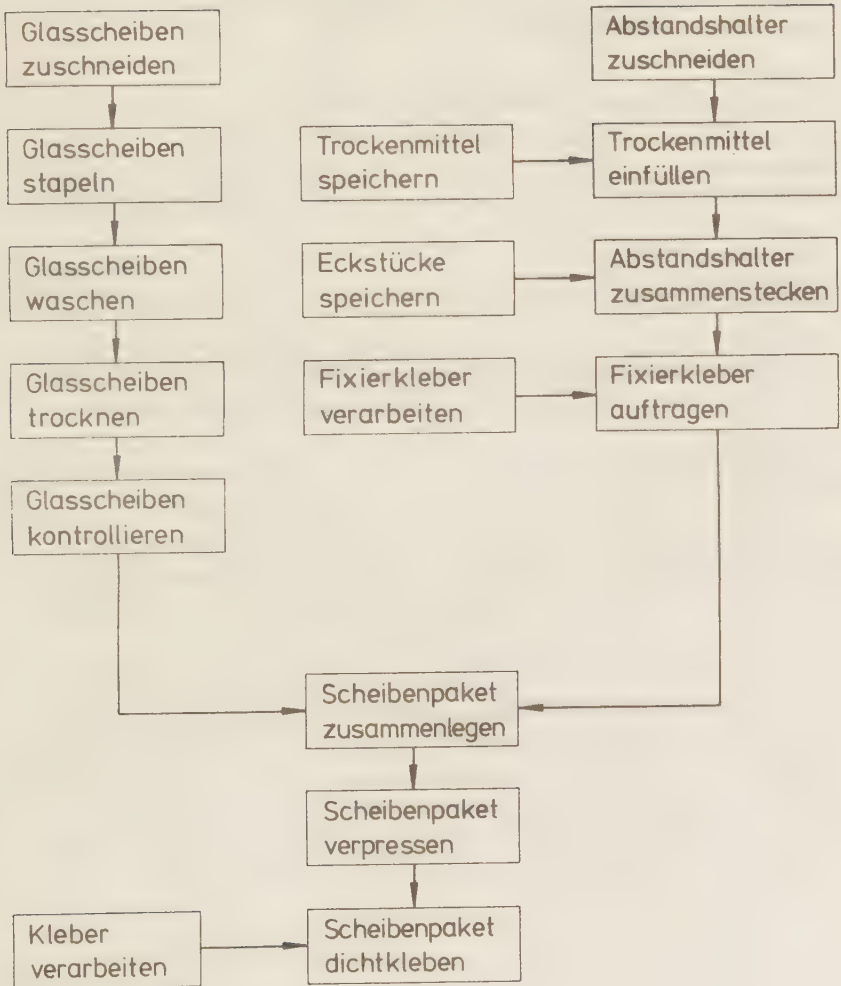


Bild 4 Fertigungsablauf bei geklebtem Isolierglas

Parallel dazu werden die Abstandshalter auf Maß geschnitten. Aus dem Trockenmittelspeicher werden sie mit Trockenmittel aufgefüllt und anschließend mit den Eckenprofilen zusammengesteckt. Danach erfolgt das Beschichten der Abstandshalter mit Fixierkleber.

Eine Scheibe und der Abstandshalter werden in der Zusammenlegstation aufeinandergeklebt und danach mit der zweiten Scheibe zu einem Scheibenpaket verpreßt. Anschließend wird der Kleber ringsum in die entstehende Randfuge eingebracht und die Scheibe ist fertig.

Als Fixierkleber verwenden fast alle Isolierglashersteller Butylkautschuk. Dieser wird in einer dünnen Schicht auf den Abstandshalter aufgetragen. Zusätzlich zu seiner Klebfunktion dient er als Sperre gegen Wasserdampfdiffusion.

Meist verwendeter Kleber zum Ausfüllen der Randfuge ist ein Polysulfid-Elastomer, das aus zwei Komponenten - Grundmasse und Härter - kurz vor der Verarbeitung zusammen gemischt wird. Die Aushärtezeit beträgt mehrere Stunden. In dieser Zeit ist ein Berühren der Klebschicht zu vermeiden.

Bild 5 zeigt schematisch, welche Aufgaben eine eingebaute geklebte Isolierglasscheibe zu erfüllen hat. Aus der Umgebung und den Einbaubedingungen wirken Stoffe und Energie (Kräfte) auf die Isolierglasscheibe ein. Diese Umwelteinflüsse sind jahrelang zu ertragen.

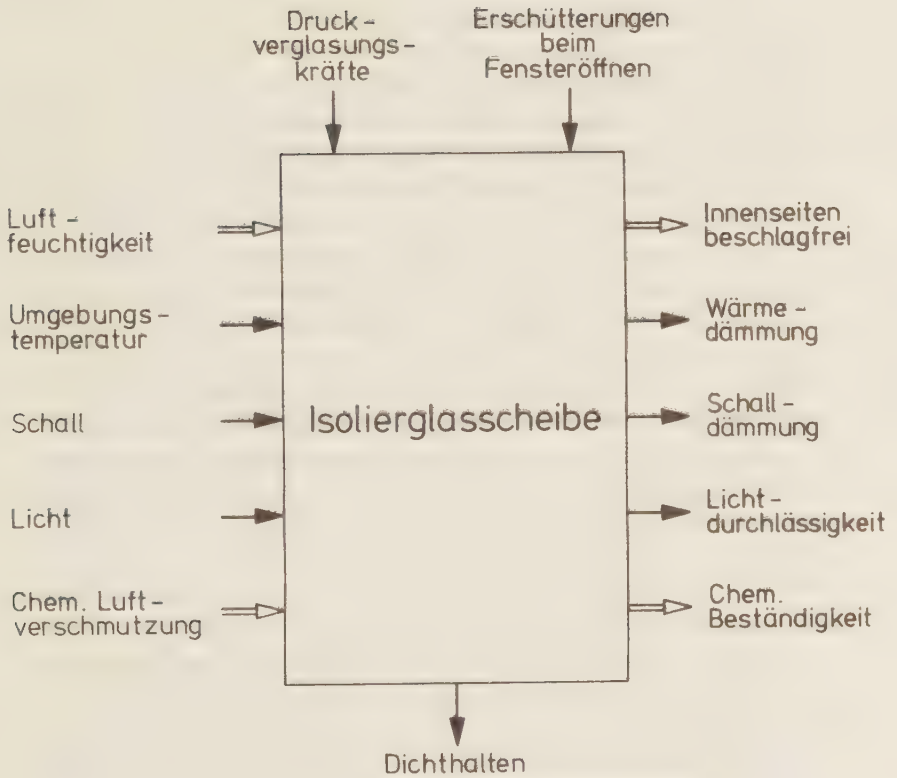


Bild 5 Einflüsse aus Umgebung und Einbauzustand auf die eingelaste geklebte Isolierglasscheibe

3. Entwicklung und Konstruktion

3.1. Konstruktionsmethodik

Die angewandte Konstruktionsmethodik nach der Richtlinie VDI-2222 [1] beruht auf der Erkenntnis, daß jedes Geschehen in technischen Systemen - Maschinen, Geräte, Apparate - in seinem Ablauf logisch begründbar sein muß und physikalischen Gesetzmäßigkeiten folgt. Dabei beschreiben Funktionen die Aufgaben technischer Systeme. Eine Funktion definiert man als den abstrakt formulierten allgemeinen Wirkzusammenhang zwischen den Eingangs- und Ausgangsprodukten eines Systems zum Erfüllen einer Aufgabe. Beim Aufgliedern in Teilaufgaben gilt entsprechendes für die Teilfunktionen. Das Denken in abstrakten Funktionen erleichtert das Finden neuer, günstigerer Lösungen zur Durchführung der gestellten Konstruktionsaufgabe, ohne sich dabei zu schnell auf ein bestimmtes Lösungsprinzip festzulegen.

Zur Klärung der Aufgabenstellung sind alle Forderungen an das zu entwickelnde System in einer Anforderungsliste zusammenzutragen. Die geforderte Gesamtfunktion läßt sich abstrakt in Form einer Black-Box darstellen, bei der als Eingangs- und Ausgangsprodukte nur Stoffe, Energie und Signale auftreten können. Die Black-Box ist Ergebnis einer Abstraktion der im einzelnen noch unbekannten Konstruktion. Abstraktion heißt hier das Weglassen von allem, was für die ersten Überlegungen unwesentlich ist. Es liegt der geforderte Wirkzusammenhang vor [2,3,4].

Mit den aus der Anforderungsliste ersichtlichen Teilaufgaben läßt sich der logisch richtige Ablauf der einzelnen Teilfunktionen in Funktionsgliederungen oder - noch umfassender - in Funktionsstrukturen angeben. Unter Funktionsgliederung [1] ist eine einfache graphische Dar-

stellung einer Gesamtfunktion mit Teilfunktionen zu verstehen. Die Funktionsstruktur stellt dagegen die Verknüpfung dieser Teilfunktionen durch Stoff-, Energie- und Signalflüsse dar. Nach [2] ist eine Funktionsstruktur aus Funktionselementen aufgebaut, wobei ein Funktionselement erst dann als solches definiert ist, wenn ein physikalischer Effekt dahintersteckt. Im allgemeinen sind mehrere solcher Funktionsstrukturen zu finden. Mit der Funktionsstruktur liegt der logische Wirkzusammenhang vor. Jedes technische System besitzt einen logischen Aufbau, den man als selbstverständlich neben dem physikalischen Geschehen nur nicht besonders hervorgehoben hat.

Für die in der Funktionsstruktur angegebenen Teilfunktionen sind Lösungsprinzipien zu suchen, mit denen sich im physikalischen Wirkzusammenhang die Teilfunktionen mehr oder weniger vollkommen durchführen lassen. Im einfachsten Fall sind für jede Teilfunktion bereits Bausteine zur Funktionserfüllung vorhanden. Solche Bausteine können dann Maschinenelemente, aber auch ganze Maschinen bei umfassenderen Teilfunktionen [1] sein. Sind keine fertigen Bausteine für einzelne Teilfunktionen zu finden, so wird man physikalische Wirkprinzipien suchen, die ein Umsetzen der vorgegebenen Eingangsgröße in die geforderte Ausgangsgröße vornehmen können. Die Suche nach Lösungsprinzipien können Konstruktionskataloge [7,8] erleichtern. Eine Sammlung vorhandener Kataloge ist in [9] zu finden. Weitere Hilfsmittel und Methoden zur Auffindung von geeigneten Lösungsprinzipien gibt [5] an.

Durch Kombination von Lösungsprinzipien und Bausteinen zum Erfüllen der Gesamtfunktion lassen sich geeignete Prinzipkombinationen finden. Hauptkriterium der Kombinationsschritte ist das Erkennen von physikalischen Verträglichkeiten zwischen den zu kombinierenden Lösungsprin-

zipien, damit ein weitgehend störungsfreier Energie-, Stoff- und Signalfluß auftritt und Kollisionen in der Geometrie unterbleiben. Der Konkretisierungsgrad ist bei diesem Schritt noch gering, auch lassen sich Zusammenhänge vorerst nur qualitativ überblicken. Man spricht deshalb von der qualitativen Konzeptphase im Entwicklungsablauf.

In der quantitativen Konzeptphase müssen Varianten in Form grobmaßstäblicher Skizzen erarbeitet werden. Bei neuartigen Lösungsprinzipien ist es oft erforderlich, sich über die Lösungen genauere Daten als Bemessungsgrundlage zu beschaffen. Besonders im vorliegenden Fall des Stoffumsatzes sind durch Rechnung und/oder Versuche die notwendigen Informationen über das Verhalten des betrachteten Lösungsprinzips im Zusammenwirken mit dem umzusetzenden Stoff zu beschaffen.

Im folgenden Arbeitsschritt werden die zu Konzeptvarianten konkretisierten Lösungsvorschläge bewertet. Diese Bewertung soll den Annäherungsgrad einer Lösung an die vorgegebene Zielvorstellung ermitteln. Damit wird auch deutlich, daß es sich nicht um eine absolute, sondern nur um eine relative Bestlösung handeln kann. Das so gefundene Lösungskonzept ist das Endergebnis des Konzipierens und dient als Ausgangspunkt für das anschließend folgende Entwerfen.

Der maßstäbliche Entwurf ist technisch-wirtschaftlich zu bewerten, was im wesentlichen ein Ausmerzen von erkannten Schwachstellen umfaßt. Nach Optimieren der Gestaltungszonen liegt der verbesserte Entwurf vor. Mit dem Gestalten und Optimieren der Einzelteile kann das Ausarbeiten von Ausführungsunterlagen wie Zeichnungen, Stücklisten und Anweisungen erfolgen. Anschließend läßt sich ein Prototyp herstellen und überprüfen.

3.2. Aufgabenstellung und Anforderungsliste

Die Aufgabe lautet allgemein: Entwicklung eines Maschinensystems, mit dem an einem Scheibenpaket aus zwei rechteckigen, von einem Abstandshalter getrennten Glasscheiben beliebiger Größe die außen liegende Randfuge mit Klebstoff vollkommen dicht verklebt wird. Bild 6 stellt die geforderte Gesamtfunktion in Form einer Black-Box dar. Als Eingangsprodukte werden das noch unverklebte Scheibenpaket und der Kleber zusammengebracht. Nach Ablauf der Gesamtfunktion "Scheibe dichtkleben" wird die fertige Isolierglasscheibe ausgegeben. Hauptumsatz ist hier der Stoffumsatz. Die ebenfalls zur Aufgabenerfüllung notwendigen Energie- und Signalumsätze sollen den Erfordernissen des Stoffumsatzes angepaßt werden.

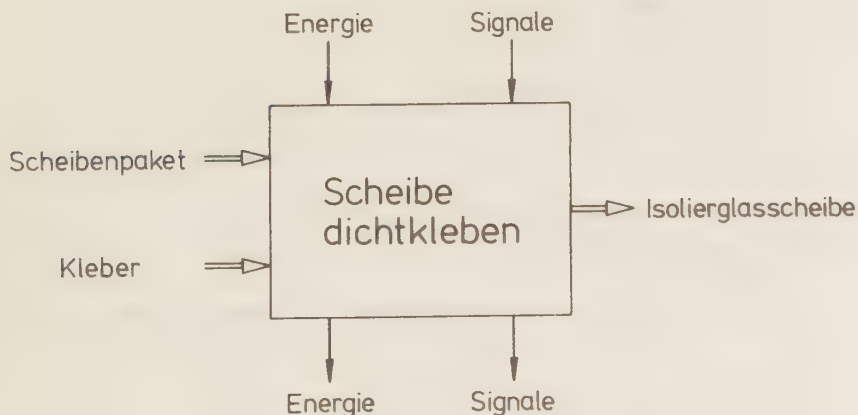


Bild 6 Allgemeine Formulierung der Aufgabenstellung

Tafel 1 Anforderungsliste zur Konstruktion des Prototyps

Scheibenform	rechteckig
Minimale Kantenlänge	300 mm
Maximale Kantenlänge	700 mm
Verhältnis der Kantenlängen	beliebig
Scheibenabstand	12 mm
Scheibendicke	4 mm
Dickentoleranz der Glasscheiben	$\pm 0,1$ mm
Maßtoleranzen der Glaskantenlängen	± 1 mm
Längentoleranz des Abstands-halters	± 1 mm
Maßtoleranz des Scheibenabstands	$\pm 0,2$ mm
Maximale Überdeckungsabweichung der Scheiben	$\pm 1,5$ mm
Beschaffenheit der eingebrachten Klebdichtung	überall homogen
Kantenüberstand der Klebdichtung	- 1...0 mm
Dickenschwankung der Klebdichtung	$\pm 0,5$ mm
Produktionszeit für maximale Scheibengröße	< 30 sec
Mittlere Kleberauftragsgeschwindigkeit	> 9,3 cm/s
Spezifische Klebermenge	$55 \text{ cm}^3/\text{m}$ $\pm 0,1 \text{ cm}^3/\text{m}$
Maximale Verarbeitungstemperatur für thermoplastische Schmelzkleber	220° C
Lieferzustand des Schmelzklebers (Maße in mm)	Granulat 10x10x10 Block 50x50x100 Band 50x50
Nacharbeit an Isolierglasscheibe	keine
Standzeit des Auftragswerkzeugs	> 8 h
Energie- und Signalumsatz	Anpassen an Erfordernisse des Stoffumsatzes

In Tafel 1 sind die Anforderungen an den Prototyp der zu bauenden Maschine aufgeführt.

Die als Prototyp vorgesehene Maschine verarbeitet nur eine begrenzte Scheibengröße. Es darf aber keine prinzipiellen Schwierigkeiten bereiten, die Maschine für größere Abmessungen auszubauen. Als untere Begrenzung wird die kleinste herstellbare Scheibe angegeben. Die geforderte Produktionszeit soll kleiner sein als die jetzt durch Handauftrag erreichbare. Aus der Produktionszeit läßt sich die Kleberauftragsgeschwindigkeit am Scheibenumfang bestimmen. Für alle Scheibengrößen ist das gleiche Abstandshalterprofil zu verwenden, der Scheibenabstand ist also konstant. Damit bleibt auch die je Längeneinheit aufzutragende Klebermenge gleich. Als wichtigste Eigenschaft soll die Klebdichtung ringsum überall homogen sein, d.h. Naht- oder Stoßstellen sollen von gleicher Beschaffenheit sein wie die übrigen Bereiche der Klebdichtung. Die Scheibendicke soll beim zu bauenden Prototyp für alle Scheibenabmessungen die gleiche sein. Es müssen alle geeigneten Einkomponenten-Kleber in den üblichen Lieferformen als Granulat, Bänder oder Blöcke verarbeitet werden können. Wegen der scharfen Schnittkanten am Glas kann bei Kleberauftrag Verschleiß auftreten. Die Standzeit des Werkzeugs für den Kleberauftrag soll mindestens eine Arbeitsschicht betragen. Nacharbeit an den fertigen Isolierglasscheiben darf nicht entstehen. Die notwendigen Energie- und Signalumsätze sollen den Erfordernissen des Stoffumsatzes angepaßt werden.

3.3. Teilfunktionen und Funktionstrukturen

Entsprechend der Erkenntnis, daß jedes Geschehen in technischen Systemen in seinem Ablauf logisch begründbar ist,

wird im nächsten Arbeitsschritt die Gesamtfunktion in einzelne Teilfunktionen von ganz bestimmter Aufeinanderfolge zerlegt.

Es ist zweckmäßig, von der Gesamtfunktion zuerst eine Funktionsgliederung aufzustellen. Bild 7 zeigt diese Gliederung.

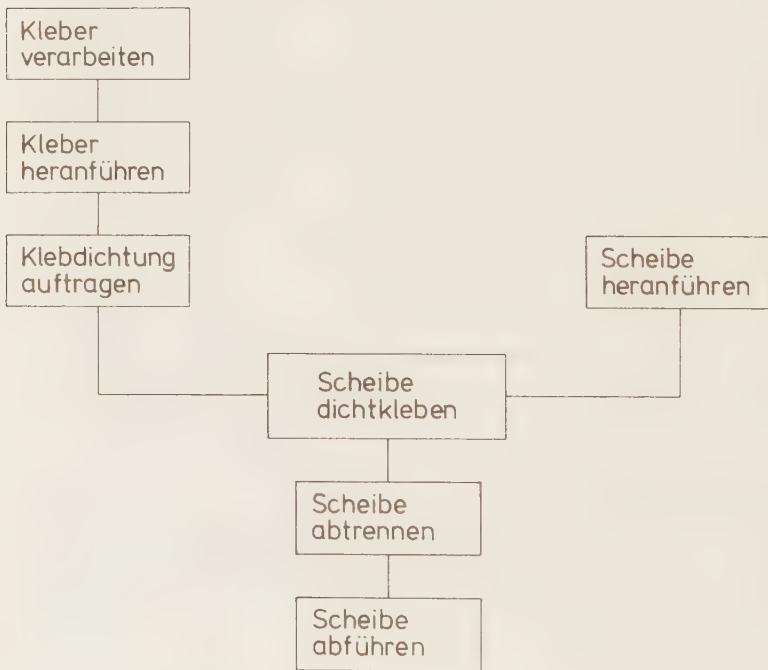


Bild 7 Funktionsgliederung

Der Kleber ist in den verarbeitungsfähigen Zustand zu bringen, dazu wird er erwärmt und plastifiziert. Sowohl der Kleber als auch das Scheibenpaket sind anschließend an die Stelle heranzuführen, an der das eigentliche Dichtkleben geschieht. Nach vollständiger Auftragung der Klebdichtung müssen Scheibenpaket und Kleber voneinander getrennt und die fertige Isolierglasscheibe abgeführt werden.

Fügt man der logisch sinnvollen Verknüpfung einzelner Teilfunktionen noch den Energie- und Signalumsatz hinzu, entsteht die Funktionsstruktur. Es lassen sich mehrere solcher Strukturen finden, die beiden wichtigsten sind in den folgenden Abschnitten aufgeführt. Dargestellt sind nur Teilfunktionen des Stoffumsatzes, der ja hier Hauptumsatz ist. In Verknüpfungsfunktionen V werden Stoffe miteinander verknüpft, während in Trennfunktionen T dieselben getrennt werden. Ist ein Stoff weiterzuleiten, so sind Leitungsfunktionen L vorzusehen.

In der Funktionsstruktur 1 nach Bild 8 werden in der Teilfunktion "Kleber ansetzen" der verarbeitungsfähige Kleber und das Scheibenpaket zusammengebracht (Verknüpfungsfunktion). Danach wird mit der Funktion "Klebdichtung anfangen" Kleber erstmalig in die Randfuge hineingebracht. Sobald er sich mit dem Scheibenpaket verbindet, ändert der Kleber entsprechend seiner Hauptaufgabe als abdichtendes Element zwischen den Glasscheiben seine Bezeichnung und wird zur Klebdichtung. Unter Klebdichtung ist also der in die Randfuge eingefüllte Kleber zu verstehen. Weil mit der Teilfunktion "Klebdichtung anfangen" ein Gebilde entsteht, was einen Anfang und ein Ende hat, ist diese Funktion eine Trennfunktion. Es wird eine Anfangsstelle der Klebdichtung zurückgelassen, die laufend aufgetragene Klebdichtung entfernt sich von diesem Anfang. Logischerweise ist diese Teilfunktion deshalb eine Trennung. Mit

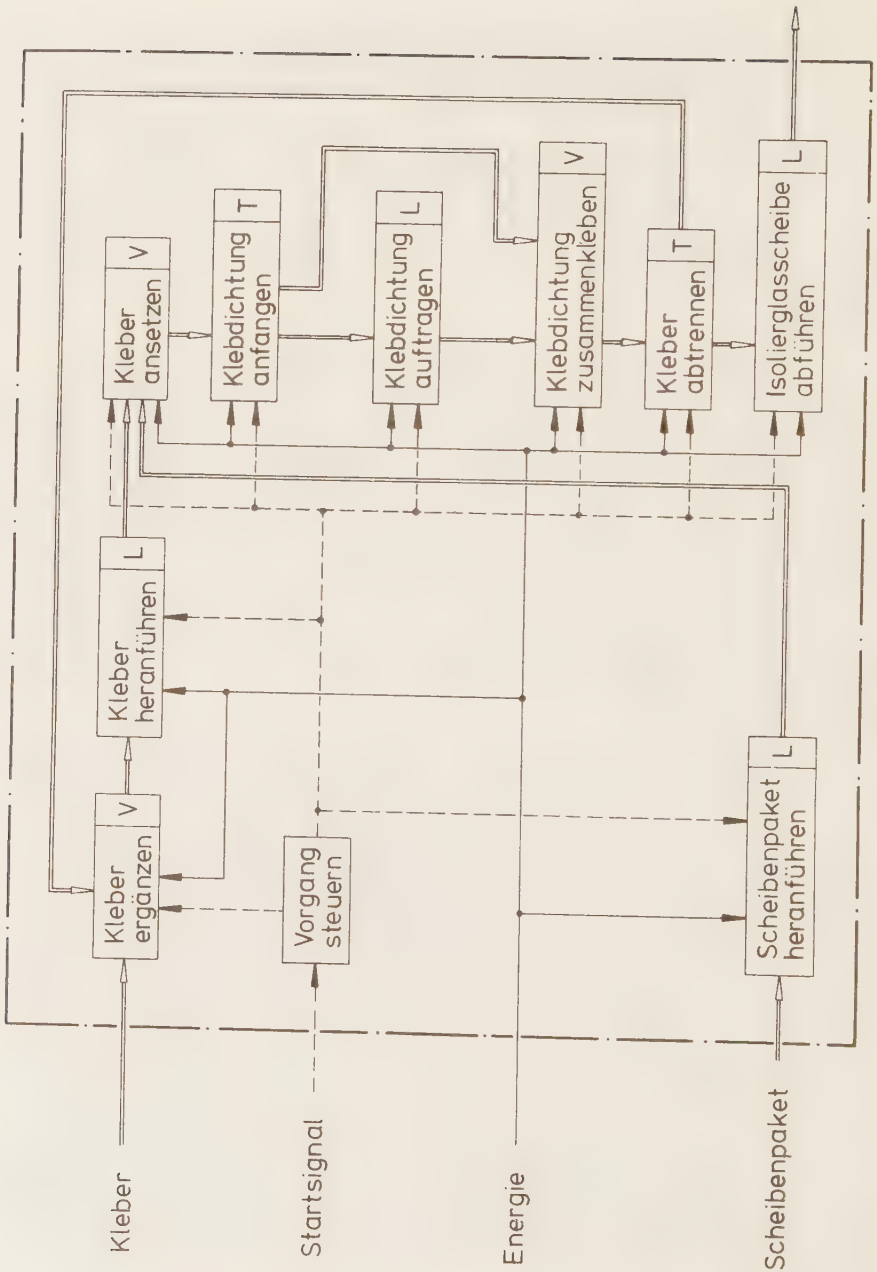


Bild 8 Funktionsstruktur 1

der Teilfunktion "Klebdichtung auftragen" setzt sich der Vorgang an der Scheibenkante fort (Leitungsfunktion). Ist das Scheibenpaket einmal umfahren, muß mit der Verknüpfungsfunktion "Klebdichtung zusammenkleben" der Anfang und das Ende derselben miteinander verbunden werden. Die anschließende Funktion "Kleber abtrennen" trennt Kleber und Klebdichtung voneinander, die ja infolge der Klebwirkung noch zusammenhängen (Trennfunktion). Die fertige Isolierglasscheibe wird abgeführt (Leitungsfunktion). Zum hier beschriebenen Stoffumsatz kommen in Bild 8 noch der Energie- und der Signalumsatz.

Die Funktionsstruktur 1 ist vom Ablauf der notwendigen Teilfunktionen her gesehen die einfachste. Um in der weiteren Vorgehensweise Alternativen zu besitzen, sind weitere Strukturen zu suchen.

Bild 9 stellt die Funktionsstruktur 2 dar. Hier wird nach der Teilfunktion "Kleber ansetzen" (Verknüpfungsfunktion) die Klebdichtung in der Funktion "Klebdichtung aufteilen" (Trennfunktion) in zwei Teilstränge zerlegt. Nach der Leitungsfunktion "Klebdichtung auftragen" sind die Teilstränge der Verknüpfungsfunktion "Klebdichtung zusammenkleben" miteinander zu verbinden. Anschließend ist wieder mit der Funktion "Kleber abtrennen" (Trennfunktion) der Kleber von der ringsum geschlossenen Klebdichtung zu trennen und die "Isolierglasscheibe abzuführen" (Leitungsfunktion).

Bei Berücksichtigung der Kriterien Qualität, Quantität und Kosten - soweit eine Anwendung schon möglich ist - erweist sich die Funktionsstruktur 2 als günstiger. Das Aufteilen der Klebdichtung in zwei Teilstränge ist als Quantitätsmerkmal zu werten. Wenn zwei Teilstränge gleichzeitig aufgetragen werden, halbiert sich die Produktionszeit. Das

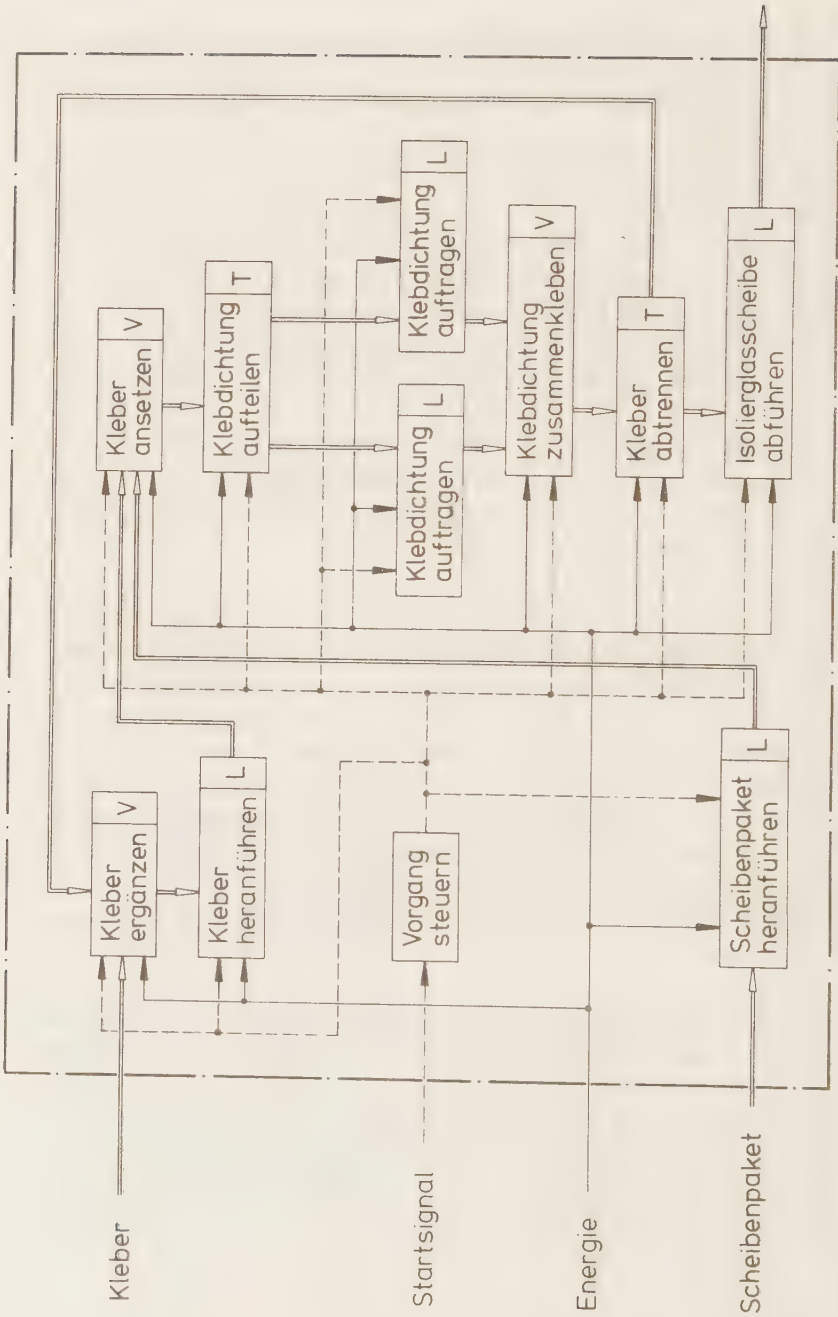


Bild 9 Funktionsstruktur 2

Zusammenführen der beiden Leitungsfunktionen "Klebdichtung auftragen" zur Funktion "Klebdichtung zusammenkleben" ist von der Qualität her günstiger als der entsprechende Ablauf in Struktur 1. Die in der Anforderungsliste genannte Bedingung, daß die Klebdichtung ringsum überall homogen sein soll, wird mit der Funktionsstruktur 2 besser erfüllt. Hier treffen die beiden Klebdichtungs-Teilstränge am Schluß des Kleberauftrags im verklebungsfähigen Zustand zusammen und fließen nahtlos ineinander. Für die Funktionsstruktur 1 ist dagegen nicht sicher gestellt, daß sich der zurückgelassene und später wiedererreichte Anfang der Klebdichtung noch im verklebungsfähigen Zustand befindet und die Klebdichtung überall homogen ist. Falls sich also in der weiteren Vorgehensweise keine Nachteile ergeben, soll die Funktionsstruktur 2 bevorzugt werden.

Die Funktionsstruktur zeigt in abstrakter Form die logisch sinnvolle Aufeinanderfolge der Teilfunktionen. Sie ist kein Selbstzweck, sondern soll die Lösungsfindung erleichtern. Deshalb wird der Zerlegungsvorgang bei der einzelnen Teilfunktion nur so weit fortgesetzt, wie dies zur Lösung der Aufgabe sinnvoll erscheint. Eine Teilfunktion kann durchaus mehrere einzelne Funktionen umfassen, ein Zusammenlegen von Funktionen ist zum Erzielen von einfachen und kostengünstigen Systemen sogar anzustreben. Derartige Teilfunktionen sind dann die Grundlage für integrierte Funktionsträger [5]. So können z. B. zur verarbeitungsgerechten Aufbereitung von Klebern bereits Maschinen vom Kleberhersteller vorhanden sein, die sich für diesen Verwendungszweck ohne Einschränkungen übernehmen lassen. Die Teilfunktion "Kleber aufbereiten" läßt sich dabei noch weiter zerlegen, bis Elementarfunktionen [6] als sinnvoll nicht mehr weiter teilbare Funktionen erreicht werden.

Teilt man die Auftragung der Klebdichtung weiter auf, so kann man noch mehr Funktionsstrukturen finden. Eine Überprüfung zeigt aber, daß sie durch eine größere Zahl von Teilfunktionen sehr viel komplizierter und damit kostengünstiger werden.

3.4. Lösungsprinzipien und deren Kombination

Für die in den Funktionsstrukturen 1 und 2 angegebenen Teilfunktionen sind Lösungsprinzipien zu suchen, mit denen sich die Funktionen durchführen lassen. Der Schritt von der abstrakten Teilfunktion zum physikalischen Wirkprinzip ist besonders im Gebiet des hier vorliegenden Stoffumsatzes oft recht schwierig, in vielen Fällen lassen sich dabei auch die geforderten Teilfunktionen nur angenähert mit bestimmten Lösungsprinzipien ausführen. Es bedarf dann zusätzlicher Informationen über das physikalische Wirkprinzip im Zusammenhang mit dem umzusetzenden Stoff. So ist beispielsweise der Übergang von der abstrakten Teilfunktion "Kleber abtrennen" zu physikalischen Wirkprinzipien nicht ohne eine vorhergehende, möglichst allgemeine physikalische Betrachtung (Analyse) der Vorgänge beim Abtrennen des Kleberauftragswerkzeuges möglich. Es wird also zweckmäßigerweise zunächst eine physikalische Analyse der Teilfunktionen vorgenommen.

3.4.1. Physikalische Analyse der Teilfunktionen

a. Kleber ergänzen

Weil der schon vorhandene Kleber im Verarbeitungszustand (Kunststoffschmelze) vorliegt, muß der neu hinzukommende

zuerst verarbeitungsfähig gemacht und dann zum vorhandenen nachgefüllt werden. Physikalisch gesehen bedeutet diese Teilfunktion:

- Plastifizieren (Verarbeiten)-
- Nachfüllen-

Zur Ausführung sind Energiezufuhr und Steuersignale notwendig.

b. Kleber heranzuführen

Das Heranzuführen des Klebers im Verarbeitungszustand bedeutet physikalisch:

- Führen-
- Antreiben-

c. Scheibenpaket heranzuführen

Diese Teilfunktion läßt sich ebenfalls aufteilen in:

- Führen-
- Antreiben-

Für b. und c. sind jeweils Kräfte nötig. Es müssen einzelne oder mehrere zusammenhängende Wirkprinzipien gesucht werden, mit denen sich die Leitungsfunktionen erfüllen lassen.

d. Kleber ansetzen

Das Scheibenpaket und der Kleber sollen sich treffen. Diese Funktion läßt sich physikalisch analysieren zu:

- Führen-
- Verzögern-

Für die dazu nötigen Kräfte sind geeignete physikalische Wirkprinzipien zu suchen.

e. Klebdichtung anfangen

Diese Teilfunktion stellt den Beginn des Kleberauftrags in die Randfuge dar. Dabei muß das Verlaufen der Anfangsstelle verhindert werden. Physikalisch heißt das:

- Einströmen-
- Abdichten-

f. Klebdichtung auftragen

Die Klebdichtung wird fortlaufend in die Randfuge eingefüllt und soll an den Glasscheiben kleben. Dieser komplexe Vorgang läßt sich physikalisch aufteilen in:

- Einströmen-
- Benetzen-
- Führen-
- Antreiben-

Hierfür sind jeweils Kräfte nötig, die mit einem oder mehreren physikalischen Wirkprinzipien erzeugt werden müssen.

g. Klebdichtung zusammenkleben

Nach vollständiger Ausfüllung der Randfuge mit Kleber wird am Schluß das Ende der Klebdichtung mit seinem Anfang verklebt, um eine in sich geschlossene, überall homogene Klebdichtung zu erhalten. Der Anfang der Klebdichtung ist dazu in den verarbeitungsfähigen (= verklebungsfähigen) Zustand zu bringen oder während der ganzen Zeit zu halten. Physikalisch bedeutet das:

- Plastifizieren-
- Benetzen-

Der Vorgang benötigt Energiezufuhr. Geeignete physikalische Wirkprinzipien müssen die geforderte Verknüpfungsfunktion erfüllen.

h. Kleber abtrennen

Nach Fertigstellung der Isolierglasscheibe sind Klebdichtung und Kleberauftragswerkzeug voneinander zu trennen. Innerhalb des Klebermaterials kann der Trennvorgang folgendermaßen analysiert werden:

1. Überwindung des Trennwiderstandes an der Trennstelle unter mechanischer Beanspruchung.
2. Verändern des Trennwiderstandes innerhalb des Klebermaterials. Es ergeben sich zwei Möglichkeiten:
 - a. Der Trennwiderstand wird an der Trennstelle herabgesetzt. Hier findet dann die Trennung statt.
 - b. Der Trennwiderstand wird in einem Bereich neben der Trennstelle heraufgesetzt. In dieser Zone ist dann keine Trennung möglich.

Eine mechanische Beanspruchung benötigt Kräfte und Gegenkräfte. Es sind Lösungsprinzipien zu suchen, die dieses Kräftesystem erzeugen können.

Das Auffinden der Möglichkeiten 2a und 2b durch ein physikalisches Analysieren des Trennvorganges zeigt deutlich

den Vorteil des methodischen Vorgehens. Ist der Fall 2a noch als bereits bekannte Trennmöglichkeit anzusehen, so ist seine "Umkehrung" 2b allein durch konsequentes logisches Denken zu finden.

i. Isolierglasscheibe abführen

Anschließend an die Trennung von Klebdichtung und Kleber ist die fertige Scheibe abzuführen. Physikalisch gesehen heißt das:

-Führen-

-Antreiben-

Wie bei b. und c. werden dazu Kräfte benötigt.

k. Klebdichtung aufteilen

In der Funktionsstruktur 2 wird die Klebdichtung am Anfang in zwei Teildichtungen aufgeteilt. Physikalisch gesehen ist der Vorgang mit e. identisch.

Es zeigt sich, daß nur wenige Teilfunktionen mit einem einzigen physikalischen Wirkprinzip durchzuführen sind. In den meisten Fällen ist eine Kombination mehrerer Prinzipien nötig. Tafel 2 zeigt das Ergebnis der physikalischen Analyse für den Stoffumsatz.

Nach der physikalischen Analyse werden im nächsten Abschnitt Lösungsprinzipien ausgesucht, die sich zur Durchführung der Teilfunktionen eignen. In [1,3,5] sind Vorgehensmethoden angegeben und erläutert, die zu brauchbaren Ergebnissen führen. Im Hinblick auf einen wirtschaftlich vertretbaren Rahmen sollen nicht alle denkbaren Wirkprinzipien, sondern nur die aussichtsreichsten in die Überlegungen einbezogen

werden. Die Zahl der möglichen Lösungsprinzipien für die einzelne Teilfunktion ist oft sehr groß. Es sind wesentlich mehr Lösungsmöglichkeiten untersucht worden, als in dieser Arbeit aufgezählt werden können.

Tafel 2 Ergebnis der physikalischen Analyse

Stoffumsatz	Physikalische Analyse	Kräfte/Energie für Stoffumsatz
Ergänzen des Klebers	Plastifizieren Nachfüllen	Plastifizierungsenergie Nachfüllkräfte
Heranführen des Klebers	Führen Antreiben	Führungskräfte Antriebsenergie
Heranführen des Scheibenpakets	Führen Antreiben	Führungskräfte Antriebsenergie
Ansetzen des Klebers	Führen Verzögern	Führungskräfte Verzögerungskräfte
Anfangen der Klebdichtung	Einströmen Abdichten	Strömungsenergie Abdichtkräfte
Auftragen der Klebdichtung	Einströmen Benetzen Führen Antreiben	Strömungsenergie Benetzungskräfte Führungskräfte Antriebsenergie
Zusammenkleben der Klebdichtung	Plastifizieren Benetzen	Plastifizierungsenergie Benetzungskräfte
Abtrennen des Klebers	Abtrennen	Trennkräfte Trennenergie
Abführen der Isolierglasscheibe	Führen Antreiben	Führungskräfte Antriebsenergie
Aufteilen der Klebdichtung	Einströmen Abdichten	Strömungsenergie Abdichtkräfte

3.4.2. Lösungsprinzipien für die Teilfunktionen

Zur Durchführung der Teilfunktionen müssen geeignete Lösungsprinzipien ermittelt werden.

a. Kleber ergänzen

Gemäß der Anforderungsliste liegt der thermoplastische Kleber im Rohzustand als Granulat, Band oder in Blockform vor. Bevor er zum schon verarbeitungsfähigen nachgefüllt werden kann, muß er plastifiziert werden. Als schon fertig vorhandene Bausteine [11,12] zur Funktionserfüllung kommen in Frage:

- A1: Schneckenmaschine (Schneckenextruder),
- A2: Schneckenkolbenmaschine (Spritzgießmaschine),
- A3: Beheizte Kolbenpresse.

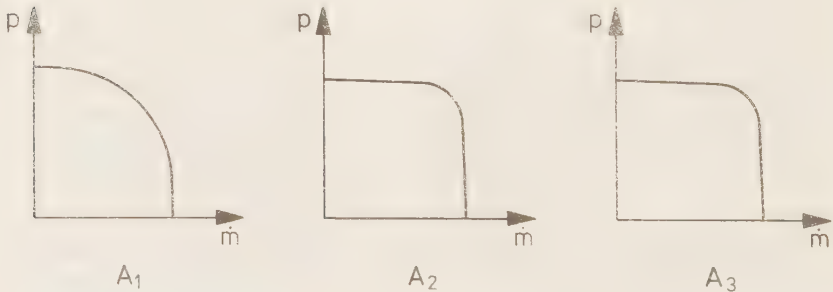


Bild 10 Lieferdruck p über dem Mengenstrom $\dot{m}$
der einzelnen Klebverarbeitungsmaschinen
A1: Schneckenextruder
A2: Spritzgießmaschine
A3: Kolbenpresse

Die Lieferkennlinien charakterisieren die Eigenschaften der einzelnen Maschinen. Bild 10 zeigt die Kennlinien schematisch.

Die Schneckenmaschine (Extruder) hat bei höherer Liefermenge $\dot{m}$ einen stärkeren Abfall des Lieferdruckes p , während Spritzgießmaschine und beheizte Kolbenpresse den Druck bis zu einer maximalen Liefermenge etwa konstant halten.

Im Vordergrund dieser Arbeit steht nicht die Neuentwicklung einer Maschine zum Plastifizieren des Klebers, es soll deshalb unter bereits vorhandenen Ausführungen die geeignete ausgesucht werden.

b. Kleber heranzuführen

Der verarbeitungsfähige Kleber (Kunststoffschnmelze) ist weiterzuleiten. Hierzu ist eine Druckdifferenz nötig, die von der Plastifiziermaschine selbst oder einer gesonderten Pumpe aufgebracht werden muß. Zur Weiterleitung eignen sich:

B1: Rohr

B2: Schlauch

B3: Freistrah

Der Mengenstrom $\dot{m}$ durch ein Rohr vom Radius r und der Länge l lautet bei einer Kunststoffschnmelze (Kleber) mit der scheinbaren Viskosität η_s unter der Druckdifferenz Δp :

$$\dot{m} = \frac{\Delta p \cdot \pi \cdot r^4}{8 \cdot \eta_s \cdot l} \quad (1)$$

Es ist der große Einfluß vom Rohrradius r zu beachten. Kunststoffschnmelzen sind Flüssigkeiten mit nicht-Newton'schem Fließbereich. Die scheinbare Viskosität η_s ist stark von der Schergeschwindigkeit abhängig.

c. Scheibenpaket heranführen

Innerhalb der Isolierglasfertigung (siehe Bild 4) transportiert man das Scheibenpaket normalerweise auf Rollen mit zusätzlichem Formschlußglied als Antrieb oder auf Förderbändern über den Haftreibungsschluß. Als Antrieb beim Transport auf Rollen kommt noch der Schwerkraft größere Bedeutung zu.

- C1: Rollen mit Formschlußglied
- C2: Rollen mit Schwerkraftantrieb
- C3: Förderband mit Haftreibungsschluß

d. Kleber ansetzen

Scheibenpaket und Kleber treffen sich. Dazu ist die Relativgeschwindigkeit zwischen Scheibenpaket und dem Kleberauftragswerkzeug herabzusetzen. Für das Zusammentreffen sind verschiedene Lösungen möglich:

- D1: Scheibenpaket und Kleberauftragswerkzeug treffen an der Glasscheibenaußenkante aufeinander. Die zulässige Auftreffgeschwindigkeit ist sehr klein.
- D2: Das Zusammentreffen von Scheibenpaket und Kleberauftragswerkzeug findet an der Außenkante des Abstandshalters statt. Die Geschwindigkeit des Auftreffens kann erheblich größer sein als in Fall D1.
- D3: Hier treffen Scheibenpaket und Kleberauftragswerkzeug wie in Fall D2 an der Außenkante des Abstandshalters zusammen, jedoch wird unmittelbar vor dem Zusammenstoß eine Kleberzwischenschicht als "Polster" aufge-

bracht. Die Auftreffgeschwindigkeit kann wiederum größer sein als im Fall D2.

Der vierte mögliche Fall, daß das Treffen an der Glas-scheibenaußenkante unter Zwischenschaltung eines "Kleberpolsters" erfolgt, ist nicht zulässig. An der Glas-außenkante darf kein Kleber aufgebracht werden. Die eingeglaste Scheibe ruht normalerweise auf kleinen Klötzen. Befindet sich auf der Glasaußenkante Kleber oder steht die eingebrachte Klebdichtung außen am Glasscheibenrand über, so stützt sich die Isolierglasscheibe mit der Klebdichtung auf den Klötzen ab. Die Folge ist eine starke Scherbeanspruchung in der Adhäsionszone zwischen Glas- und Klebdichtung. Es findet in dieser Zone ein Kriechen der plastischen Klebdichtung statt und die Isolierglasscheibe wird sehr schnell undicht gegen Was-serdampfdiffusion.

e. Klebdichtung anfangen

Die Anfangsstelle der Klebdichtung ist gegen ein Ver-laufen des noch flüssigen Klebers abzudichten. Als Lö-sungsprinzipien eignen sich:

- E1: Sperrkörper (mechanisch)
- E2: Gegendruck (hydrostatisch)
- E3: Staudruck (hydrodynamisch)

f. Klebdichtung auftragen

Voraussetzung für jeden Klebvorgang [13] ist eine aus-reichende Benetzung des Klebers mit dem zu verklebenden Bauteil. Ausgiebige Voruntersuchungen haben ergeben, daß durch das Einströmen des zähflüssigen Klebers allein keine ausreichende Benetzung erzielt werden kann. Es muß zusätzlich ein Benetzungsdruck aufgebracht werden. Als Lösung kommen daher nur Wirkprinzipien in Betracht, die

Druck in einer Flüssigkeit erzeugen können. Das Aufbringen des zur Benetzung notwendigen Druckes im Kleber läßt sich grundsätzlich durchführen:

- hydrostatisch-
- hydrodynamisch-

Die beiden Glasscheiben und der Abstandshalter begrenzen die Außenfuge bereits nach drei Seiten. Nimmt man die Forderung nach einer Führung während des laufenden Kleberauftrags mit der Erzeugung des Benetzungsdruckes zusammen, sind als Lösungsprinzipien geeignet:

- F1: hydrostatische Gleitführung
- F2: hydrodynamische Gleitführung

g. Klebdichtung zusammenkleben

Gemäß der physikalischen Analyse ist in dieser Funktion der Anfang der Klebdichtung wieder in den plastischen Zustand zu bringen. Das kann nach folgenden Prinzipien geschehen:

- G1: konvektives Erwärmen mit gasförmigem Medium
- G2: konvektives Erwärmen mit festem Medium
- G3: Erwärmen durch Strahlung

Ein konvektives Erwärmen mit einem flüssigen Medium kommt nach Voruntersuchungen ebenso wie das Erwärmen des Kunststoffklebers im hochfrequenten elektrischen Feld nicht in Betracht.

h. Kleber abtrennen

Die Kleberfestigkeit läßt sich unter mechanischer Beanspruchung durch Normalspannungen, Schubspannungen oder

durch Kombination aus beiden überwinden.

Normalspannungen treten auf bei

- Zugbeanspruchungen-
- Druckbeanspruchungen-
- Biegebeanspruchungen-

und bei Kombinationen davon.

Schubspannungen entstehen durch

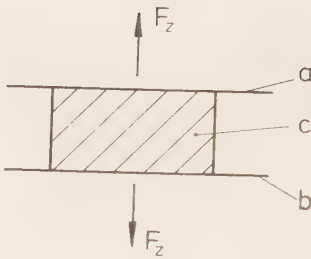
- Schubbeanspruchung-
- Torsionsbeanspruchung (Verdrehung)-

und durch Kombinationen hiervon.

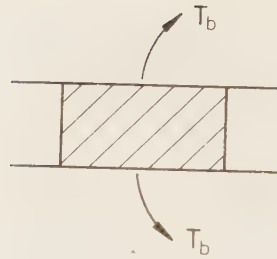
Es sind außerdem alle Kombinationen von Normal- und Schubbeanspruchungen denkbar.

Aus den genannten Beanspruchungsarten lassen sich zahlreiche Trennmöglichkeiten für die Klebertrennung ableiten. Bei der Auswahl geeigneter Lösungsprinzipien ist zu beachten, daß die Gegenhalterkräfte des aufzubauenden Kräftesystems infolge der Adhäsion der Klebdichtung an den Glasscheiben begrenzt ist.

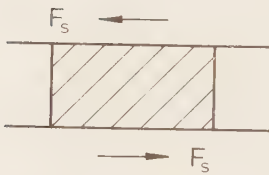
Bild 11 zeigt verschiedene Lösungsprinzipien zur Trennung von zwei Flächen a und b, die durch einen zähflüssigen Kleber c verklebt sind. Infolge der Adhäsionskräfte an den Flächen erfolgt die Trennung immer innerhalb des Klebermaterials c.



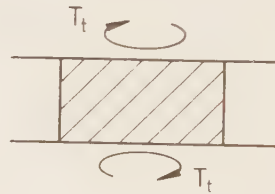
H1: Zugbeanspruchung



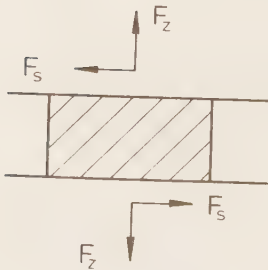
H2: Biegebeanspruchung



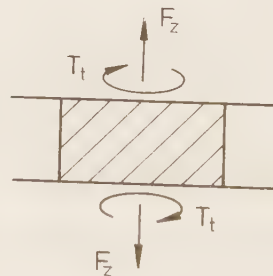
H3: Schubbeanspruchung



H4: Torsionsbeanspruchung



H5: Zug- und Schubbeanspruchung



H6: Zug- und Torsionsbeanspruchung

Bild 11 Lösungsprinzipien zur Trennung von zwei verklebten Flächen a und b, verbunden durch die Klebschicht c

i. Isolierglasscheibe abführen

Alle Lösungsprinzipien der Teilfunktion c - Scheibenpaket heranführen - sind auch hier geeignet.

- I1: Rollen mit Formschlußglied
- I2: Rollen mit Schwerkraftantrieb
- I3: Förderband mit Haftreibungsschluß

k. Klebdichtung aufteilen

Für diesen Fall sind die bei e - Klebdichtung anfangen - genannten Lösungsprinzipien ebenfalls verwendbar.

- K1: Sperrkörper (mechanisch)
- K2: Gegendruck (hydrostatisch)
- K3: Staudruck (hydrodynamisch)

Für jede Teilfunktion der Funktionsstrukturen 1 und 2 sind jetzt damit geeignete Lösungsprinzipien vorhanden. Eine Bewertung in technischer und wirtschaftlicher Hinsicht kann allerdings erst bei Konzeptvarianten, d. h. grobmaßstäblichen Skizzen erfolgen.

3.4.3. Prinzipkombinationen

Das Auswählen geeigneter Lösungsprinzipien für die Prinzipkombinationen ist geprägt durch die Tätigkeiten Ausscheiden und Bevorzugen [5]. Zweckmäßigerweise stellt man zunächst alle Lösungsprinzipien nach dem Ordnungsschema des morphologischen Kastens zusammen. Hier sind zeilenweise die Teilfunktionen und die gefundenen Lösungsprinzipien eingetragen. Der morphologische Kasten nach Tafel 3 enthält noch das gesamte Lösungsfeld. Die Zahl

Tafel 3 Morphologischer Kasten für die Lösungsprinzipien der einzelnen Teilfunktionen

Teilfunktion	Lösungsprinzipien					
Kleber ergänzen	A1	A2	A3			
Kleber heranzuführen	B1	B2	B3			
Scheibenpaket heranzuführen	C1	C2	C3			
Kleber ansetzen	D1	D2	D3			
Klebdichtung anfangen	E1	E2	E3			
Klebdichtung auftragen	F1	F2				
Klebdichtung zusammenkleben	G1	G2	G3			
Kleber abtrennen	H1	H2	H3	H4	H5	H6
Isolierglasscheibe abführen	I1	I2	I3			
Klebdichtung aufteilen	K1	K2	K3			

der möglichen Kombinationen ist sehr groß ($2,6 \cdot 10^4$). Die Auswahl der bevorzugten Lösungsprinzipien und das Zusammenstellen geeigneter Prinzipkombinationen erfolgt im vorliegenden Fall durch eine Arbeitsgruppe. Wichtige Gesichtspunkte sind dabei:

-physikalische Verträglichkeit der einzelnen Lösungsprinzipien untereinander,

-sicheres Erfüllen der benötigten Teilfunktion.

Beispielsweise sind die Einstellbarkeit und die Konstanz des in der Anforderungsliste genannten Klebermengenstroms nicht bei allen aufgeführten Kleber-Verarbeitungsmaschinen gleich. Ein direktes Einstellen des Kleberstroms (Kunststoffschmelze) selbst setzt nach Gl.(1) voraus, daß die

Druckdifferenz Δp und die scheinbare Viskosität η_s des Klebers konstant bleiben. Weil aber die Viskosität η_s von der Schergeschwindigkeit oder - deutlicher ausgedrückt - dem Geschwindigkeitsgradienten und damit auch vom Mengenstrom $\dot{m}$ selbst abhängt, ist das direkte Einstellen der Klebermenge bedingt durch den nicht-Newtonschen Fließbereich recht aufwendig. Wesentlich einfacher und sicherer in der Funktionserfüllung sind Kolbensysteme, die von einem Hilfsmedium (z. B. Hydrauliköl) angetrieben werden. Hier läßt sich mit einem üblichen Stromregelventil der Mengenstrom des Hilfsmediums konstant halten. Mit zeitlich konstantem Kolbenvorschub bleibt auch der Klebermengenstrom gleich.

Ein Beispiel zur Ausscheidung von weniger geeigneten Lösungsprinzipien ist das Heranführen des Klebers mit einem Freistahl. Bringt man den Kleber im Freistrahlfeld bis in die Randfuge des Scheibenpakets hinein, so bilden sich an einigen Stellen der Klebdichtung Inhomogenitäten im Material aus. Es fließen dabei schon eingebrachter und unmittelbar nachfolgender Kleber nicht vollkommen homogen zusammen. Hier entsteht dann eine Schwachstelle bezüglich der Dauer-Dichthaltigkeit gegen Wasserdampfdiffusion.

Als bevorzugte Prinzipkombinationen haben sich die beiden folgenden herausgestellt:

Prinzipkombination 1: A2, B2, C3, D3, K2, F1, G2, H1, I3

Prinzipkombination 2: A3, B1, C1, D2, K2, F2, G2, H5, I1

3.5. Auswahl des Lösungskonzepts

Die grundlegenden Lösungsmöglichkeiten in Form der Prinzipkombinationen 1 und 2 sind noch zu wenig konkret, um ein Lösungskonzept auswählen zu können. Es müssen weitere Informationen durch Berechnung und Versuch beschafft werden.

3.5.1. Erarbeiten von Konzeptvarianten

Logisches und physikalisches Geschehen wird an einem Wirkort von ruhenden oder bewegten Wirkflächen durchgeführt. Im vorliegenden Problemfall sind physikalische Zusammenhänge das Wesentliche für die Ausbildung des Wirkortes.

a. Wirkfläche

An der Wirkfläche wird das physikalische Wirkprinzip erzwungen. Wichtigstes physikalisches Geschehen ist bei der vorliegenden Aufgabe das Auftragen der Klebdichtung. Innerhalb des dazu notwendigen Kräftesystems bedingt die Wirkfläche die Ausbildung einer Gegenwirkfläche. Beide Flächen können verschiedene Bewegungen ausführen. Bild 12 zeigt die Zusammenhänge allgemein.

Um die Zahl der konstruktiven Alternativen einschränken zu können, wird man zunächst die einfachen Flächenformen untersuchen und kompliziertere erst dann berücksichtigen, wenn sich die einfachen als unbrauchbar erweisen.

Die ebene Fläche ist - was die Herstellung anbelangt - die einfachste Form. Bild 13 zeigt einige ebene Wirkflächenformen zum Auftragen des Klebers.

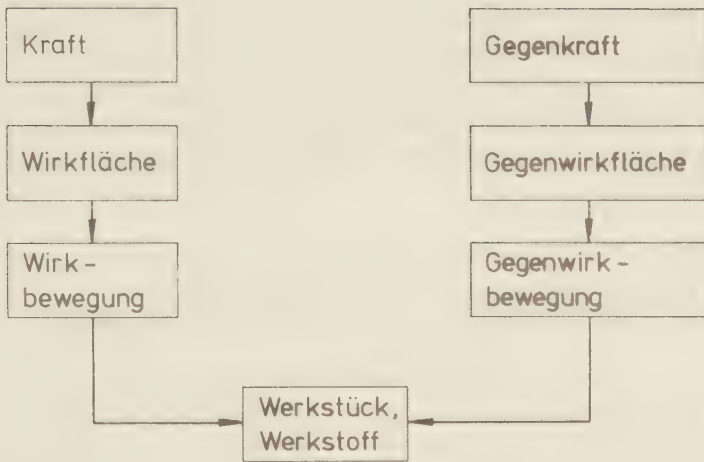


Bild 12 Geschehen am Wirkort

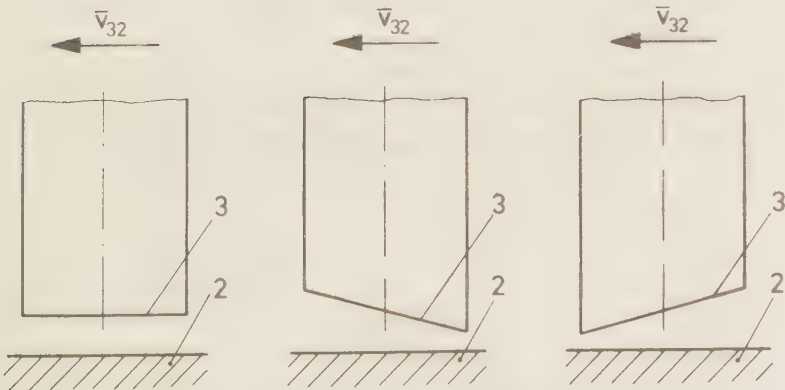


Bild 13 Variation der ebenen Wirkfläche 3, bewegt gegenüber der Gegenwirkfläche 2 mit der Relativgeschwindigkeit $\bar{v}_{32}$

Gezeichnet ist die Kleberdüse 3 mit unterschiedlich geformter Wirkfläche und die ruhende Gegenwirkfläche 2. Die Wirkfläche bewegt sich zur Gegenwirkfläche mit der Geschwindigkeit $\vec{v}_{32}$. Auch im weiteren Teil dieser Arbeit sollen Bezüge durch Indexziffern verdeutlicht werden. Der Querstrich über dem Formelzeichen gibt den Vektorcharakter an.

Rechnerische und experimentelle Untersuchungen ergeben, daß das physikalische Wirkprinzip der hydrostatischen Gleitführung für alle drei Wirkflächenformen durchführbar

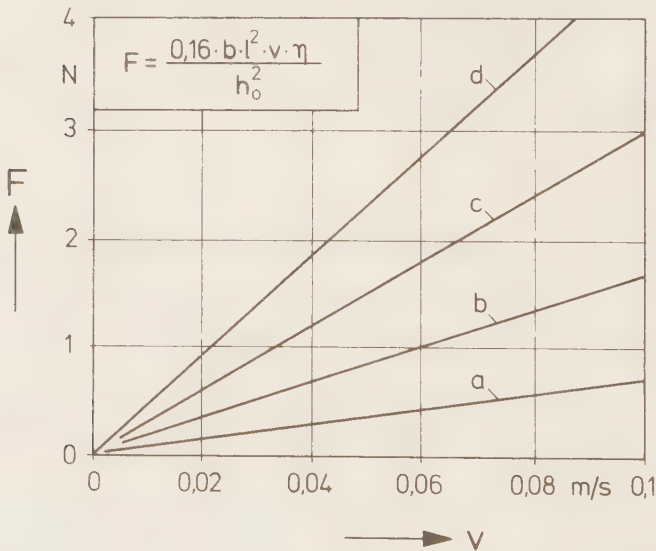


Bild 14 Maximale Tragkraft F eines schräg angestellten, mit der Geschwindigkeit v bewegten ebenen Gleitschuhes der Abmessungen: Breite $b = 12$ mm, kleinste Schmierpalhöhe $h_o = 4$ mm, dynamische Viskosität $\eta = 625$ Ns/m², Kurven a: Länge $l = 10$ mm; b: $l = 15$ mm; c: $l = 20$ mm; d: $l = 25$ mm

ist, die hydrodynamische Gleitführung dagegen nur im Fall b positive Tragkräfte aufbringt. Diesen rechnerischen Zusammenhang zeigt Bild 14. Als vereinfachende Annahme wird dabei dem aufzutragenden Kleber ein Newtonscher Fließbereich ($\eta = \text{const.}$) zugeordnet.

b. Wirkbewegung

Auch bei der Wirkbewegung sind zunächst einfache Bewegungsformen auf ihre Verwendbarkeit hin zu überprüfen. Dabei ist die gleichförmige Bewegung einfacher als die ungleichförmige. Das Aufsuchen geeigneter Wirkbewegungen läßt sich mit Hilfe der analytischen Geometrie durchführen.

Gegeben ist das rechteckförmige Scheibenpaket mit den Kantenlängen a und b. In einem x,y-Koordinatensystem des Bildes 15 begrenzen die vier Geraden g_1 bis g_4 das Scheibenpaket in seiner allgemeinen Lage. Durch systematisches Variieren der Parameter des Geraden-Gleichungssystems g_1 bis g_4 lassen sich alle möglichen Lagen des Rechtecks bezüglich der notwendigen Wirkbewegungen überprüfen. Das Auffinden der günstigsten Lösung ist dann kein Zufall, sondern methodisch herleitbar.

Gleichungssystem für die begrenzenden Geraden g_1 bis g_4 :

$$g_1: y = m_1 \cdot x + c_1 \quad m_1 = m_3 \quad \text{weil } g_1 \parallel g_3 \quad (2,3)$$

$$g_2: y = m_2 \cdot x + c_2 \quad m_2 = m_4 \quad " \quad g_2 \parallel g_4 \quad (4,5)$$

$$g_3: y = m_3 \cdot x + c_3 \quad m_3 = -\frac{1}{m_1} \quad " \quad g_2 \perp g_1 \quad (6,7)$$

$$g_4: y = m_4 \cdot x + c_4 \quad m_4 = -\frac{1}{m_2} \quad " \quad g_4 \perp g_3 \quad (8,9)$$

Nach Umformung ergibt sich:

$$m_1 = m_3 = m \quad c_3 = \pm a\sqrt{1+m^2} + c_1 \quad (10,11)$$

$$m_2 = m_4 = -\frac{1}{m} \quad c_4 = \pm \frac{b\sqrt{1+m^2}}{m} + c_2 \quad (12,13)$$

Das Gleichungssystem lautet dann:

$$g_1: y = m \cdot x + c_1 \quad (14)$$

$$g_2: y = -\frac{1}{m} \cdot x + c_2 \quad (15)$$

$$g_3: y = m \cdot x + a\sqrt{1+m^2} + c_1 \quad (16)$$

$$g_4: y = -\frac{1}{m} \cdot x + \frac{b\sqrt{1+m^2}}{m} + c_2 \quad (17)$$

Die laufende Strecke s am Umfang (Bogenlänge) beträgt:

$$g_1, g_3: s = x\sqrt{1+m^2} \quad (18)$$

$$g_2, g_4: s = x\sqrt{1+\frac{1}{m^2}} \quad (19)$$

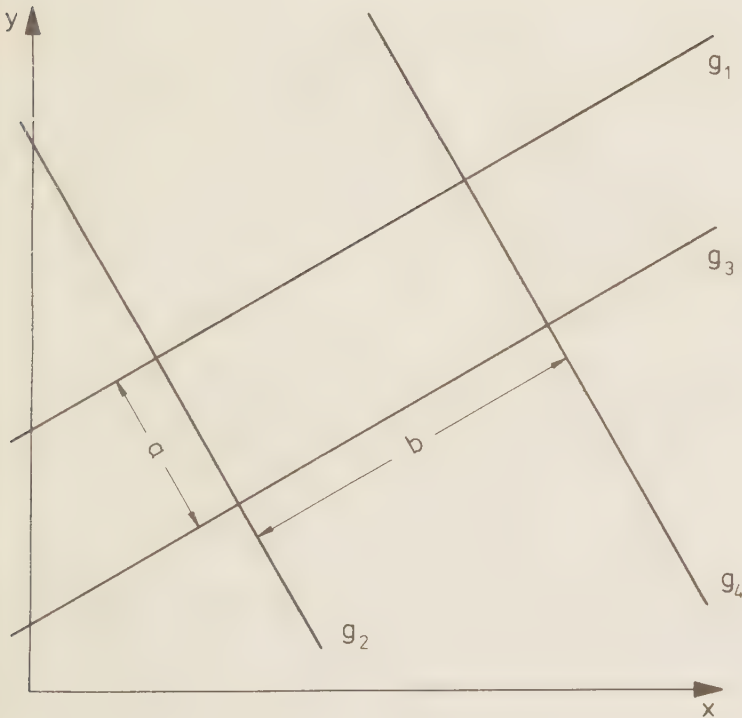


Bild 15 Begrenzung des Scheibenpakets durch die Geraden g_1 bis g_4 im x,y -Koordinatensystem

Als Variable im Gleichungssystem g_1 bis g_4 treten die Parameter c_1 , c_2 und m auf. Aus der großen Zahl der Variationsmöglichkeiten sollen die beiden günstigsten Lösungen dargestellt und bezüglich der erforderlichen Wirkbewegungen untersucht werden.

Fall 1:

$$c_1 = c_2 = 0$$

$$m = 1$$

(20,21)

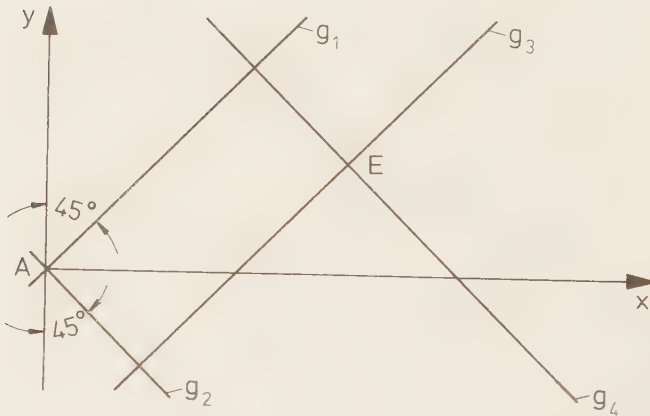


Bild 16 Lage der Geraden g_1 bis g_4 für den Fall 1

Bild 16 zeigt das für den Fall 1 von den Geraden g_1 bis g_4 ausgespannte Scheibenpaket. Für das Gleichungssystem ergibt sich die Lösung:

$$g_1: y = x \quad (22)$$

$$g_2: y = -x \quad (23)$$

$$g_3: y = x - a\sqrt{2} \quad (24)$$

$$g_4: y = -x + b\sqrt{2} \quad (25)$$

Die laufende Strecke s am Umfang (Bogenlänge):

$$g_1, g_3: s = x\sqrt{2} \quad (26)$$

$$g_2, g_4: s = x\sqrt{2} \quad (27)$$

Für die notwendigen Wirkbewegungen bedeutet das: Bei einem Fortschreiten in positiver x -Richtung werden auf den Geraden g_1 bis g_4 jeweils gleiche Strecken in positiver und negativer y -Richtung zurückgelegt. Die mit dem Fortschreiten in x -Richtung auf den Geraden zurückgelegte Strecke s ist von den Kantenlängen a und b unabhängig und auf allen vier Geraden gleich groß. Für ungleiche Kantenlänge a und b liegen Anfangspunkt A und Endpunkt E nicht zusammen auf der x -Achse.

Als Lösungskonzept ist der Fall 1 in Bild 17 dargestellt. Ein rechteckförmiges Scheibenpaket (Ebene 2) mit Kantenlängen a und b bewegt sich in der ruhenden Ebene 1 auf gerader Bahn über ein Transportsystem mit konstanter Geschwindigkeit $\bar{v}_{21}$ in der gezeichneten Lage vorwärts. Die Kleber auftragenden Maschinen 3 und 4 bewegen sich mit den Geschwindigkeiten $\bar{v}_{31}$ bzw. $\bar{v}_{41}$ senkrecht zur Transportrichtung des Scheibenpakets ebenfalls auf Geraden. Bei konstanter Geschwindigkeit $\bar{v}_{21}$ sind auch die Geschwindigkeiten $\bar{v}_{31}$ und $\bar{v}_{41}$ konstant und damit ebenfalls der Mengenstrom des Kleberauftrags. Die vektorielle Geschwindigkeitszerlegung $\bar{v}_{32}$ bzw. $\bar{v}_{42}$ zeigt Bild 18. Weil der Endpunkt E im Gegensatz zum Anfangspunkt A nicht auf der x -Achse liegt, ist es notwendig, die den Kleber auftragenden Maschinen 3 und 4 vor Ankunft der nächsten Scheibe wieder in die Ausgangsposition zurückzufahren.

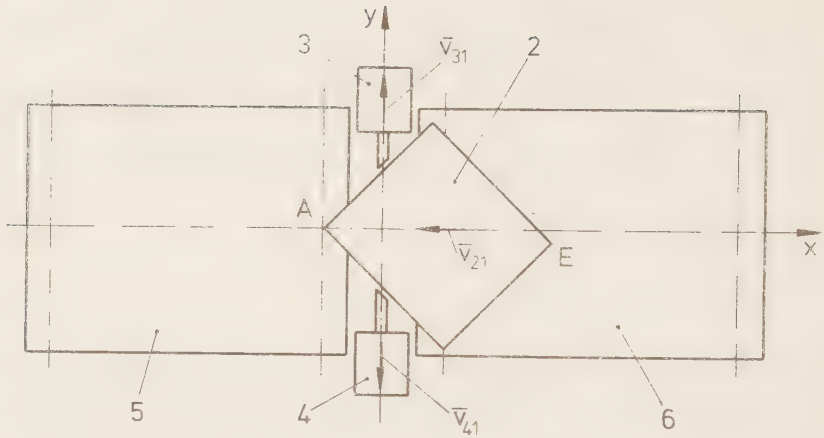
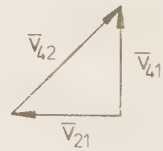
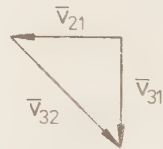
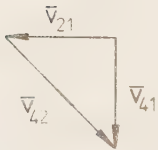
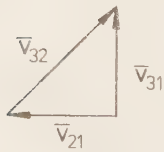


Bild 17 Lösungskonzept 1
 2 Scheibenpaket; 3,4 Kleberdüsen;
 5,6 Förderbänder



auseinanderlaufende Kanten

zusammenlaufende Kanten

Bild 18 Geschwindigkeitspläne für das Lösungskonzept 1
 nach Bild 17

Fall 2:

$$c_1 = c_2 = 0 \qquad m = \frac{a}{b} \qquad (28, 29)$$

Das Gleichungssystem lautet somit:

$$g_1: y = \frac{a}{b} x \qquad (30)$$

$$g_2: y = -\frac{b}{a} x \qquad (31)$$

$$g_3: y = \frac{a}{b} x - \sqrt{a^2 + b^2} \qquad (32)$$

$$g_4: y = -\frac{b}{a} x + \sqrt{a^2 + b^2} \qquad (33)$$

Die Strecke s am Umfang beträgt in diesem Fall:

$$g_1, g_3: s = x \sqrt{1 + \frac{a^2}{b^2}} \qquad (34)$$

$$g_2, g_4: s = x \sqrt{1 + \frac{b^2}{a^2}} \qquad (35)$$

Die Lage für den Fall 2 zeigt Bild 19.

Beim Fortbewegen in x -Richtung werden ungleiche, vom Verhältnis der Kantenlängen a und b abhängige Strecken auf den Geraden g_1 bis g_4 zurückgelegt. Anfangspunkt A und Endpunkt E des von den Geraden ausgespannten Rechtecks liegen immer auf der x -Achse. Damit die auf den Geraden zurückgelegten Strecken gleich groß werden, muß der Übergang in das schiefwinkelige x, y -Koordinatensystem vorgenommen werden.

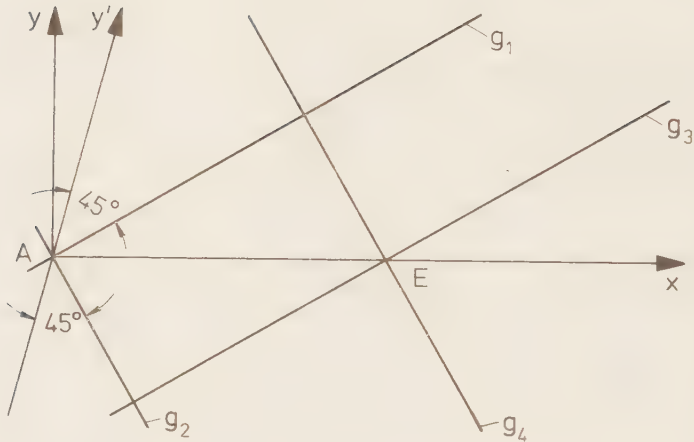


Bild 19 Lage der Geraden g_1 bis g_4 für den Fall 2

Das Lösungskonzept 2 zeigt das Bild 20. Das Scheibenpaket wird auf Rollen mit der konstanten Geschwindigkeit $\bar{v}_{21}$ bewegt. Die den Kleber auftragenden Maschinen 3 und 4 fahren mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten $\bar{v}_{31}$ bzw. $\bar{v}_{41}$ auf einer schiefwinklig zur Transportrichtung $\bar{v}_{21}$ liegenden geraden Führungsbahn. Die Relativgeschwindigkeiten $\bar{v}_{32}$ und $\bar{v}_{42}$ nach Bild 21 sind gleich groß und konstant. Der Kleberauftrag erfolgt dann mit konstantem Mengenstrom. Nach Fertigstellung der Scheibe liegt der Endpunkt E wieder dort, wo der Anfangspunkt A der nächsten Scheibe ankommt.

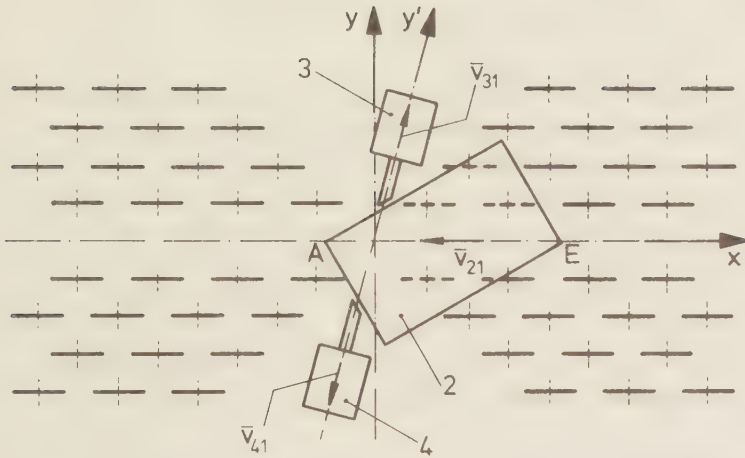
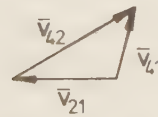
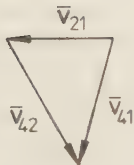
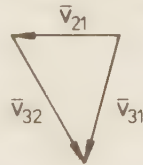
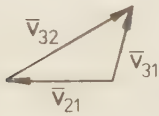


Bild 20 Lösungskonzept 2
2 Scheibenpaket; 3,4 Kleberdüsen; 5 Rollenbahn



auseinanderlaufende Kanten

zusammenlaufende Kanten

Bild 21 Geschwindigkeitspläne für das Lösungskonzept 2

3.5.2. Technisch-wirtschaftliches Bewerten der Konzeptvarianten

Zur Erstellung eines Entwurfs sind die beiden Konzeptvarianten in technisch-wirtschaftlicher Hinsicht zu bewerten. Das günstigere Konzept dient als Grundlage für die weitere konstruktive Durchbildung. Die Zahl der Bewertungskriterien sollte der besseren Überschaubarkeit wegen nicht zu groß sein. Tafel 4 zeigt die technische und Tafel 5 die wirtschaftliche Bewertung.

Die Wertigkeit ist dann das Verhältnis von erreichter Gesamtpunktezahl zur maximal möglichen Punktezahl.

Die Bewertung wird nach Richtlinie VDI-2225 [14] vorgenommen. Es zeigt sich, daß die Konzeptvariante 1 sowohl technisch als auch wirtschaftlich besser zu bewerten ist. Sie dient als Ausgangspunkt für den nachfolgenden Entwurf.

3.6. Entwurf und Konstruktion

Die Konzeptvariante 1 wird konstruktiv durchgebildet. Dazu gehört das Erstellen eines maßstäblichen Entwurfs und das Ausmerzen von Schwachstellen. Im Rahmen dieser Arbeit soll neben der Gesamtkonstruktion noch die Gestaltung der Düse für den Kleberauftrag ausführlicher herausgestellt werden.

3.6.1. Gesamtkonstruktion

Um die Funktionsweise des Maschinensystems deutlicher hervorzuheben, zeigt Bild 22 schematisch den Ablauf des Kle-

Technisches Bewertungskriterium	Punktezahlen ideal = 4 Punkte Konzeptvariante	
	1	2
Geringe Anzahl der Bauteile	3	2
Geringe mechanische Störanfälligkeit	3	3
Geringer Einfluß von Maßtoleranzen des Scheibenpakets	4	3
Großer Viskositätsbereich bei der Klebverarbeitung	3	3
Geringe Anzahl von Steuerungsorganen	3	1
Geringe Störanfälligkeit der Steuerung	3	2
Wenig Verschleiß	3	3
Leichte Einstellbarkeit	3	1
Einfache Bedienung	3	3
Gesamtpunktezahlen	28	21
Technische Wertigkeit	0,78	0,58

Tafel 4 Technische Bewertung der Konzeptvarianten

Wirtschaftliches Bewertungskriterium	Konzeptvariante	
	1	2
Hohe Fertigungsgeschwindigkeit	3	3
Geringer Montageaufwand	3	2
Hohe Maschinenausnutzung	3	1
Geringer Wartungsaufwand	3	2
Kleine Einfahrzeit	3	2
Gesamtpunktezahlen	15	10
Wirtschaftliche Wertigkeit	0,75	0,5

Tafel 5 Wirtschaftliche Bewertung der Konzeptvarianten

berauftrags in einzelnen Phasen.

Das Scheibenpaket 3 liegt mit seiner vorderen Ecke auf der Mittellinie der beiden Förderbänder 1,2. Die Seitenkanten bilden mit der Transportrichtung einen Winkel von 45° (Pos. a). Die Kleberauftragsdüsen 4,5 bewegen sich senkrecht zur Transportrichtung der Förderbänder und tragen fortlaufend Kleber auf. Sie entfernen sich dabei zunächst von der Förderbandmittellinie (b). Sobald eine der beiden Kleberdüsen eine Seitenecke erreicht hat (c), kehrt sie ihre Richtung um und bewegt sich wieder zur Förderbandmitte hin. Für die andere Düse gilt im Ablauf dasselbe (d). An der Schlußecke des Scheibenpakets treffen beide Düsen zusammen (e) und stehen bei nicht-quadratischen Scheiben außerhalb der Förderbandmittellinie (f). Bevor die nächste Scheibe eintreffen kann, müssen sie wieder in die Anfangsposition (a) zurückgeführt werden.

Das in Bild 22 schematisch und in Bild 23 konstruktiv durchgebildet gezeigte Maschinensystem benötigt neben dem Stoffumsatz noch die Umsätze für Energie und Signale. Wie in der Anforderungsliste angegeben, sollen diese dem Stoffumsatz angepaßt werden. Um die notwendigen Leistungen zur Verarbeitung und Weiterleitung des Klebers auf kleinem Raum bereitstellen zu können, wird der Hydraulikantrieb mit seiner hohen Energiedichte gewählt. Ein weiterer Vorteil ist dabei die einfache Leistungs-Steuerung.

Energie- und Signalumsatz werden in den folgenden Kapiteln noch genauer beschrieben.

Bild 23 zeigt die Gesamtkonstruktion im Querschnitt. Der Schnitt erfolgt entlang der Linie AA des Bildes 22, Pos. a.

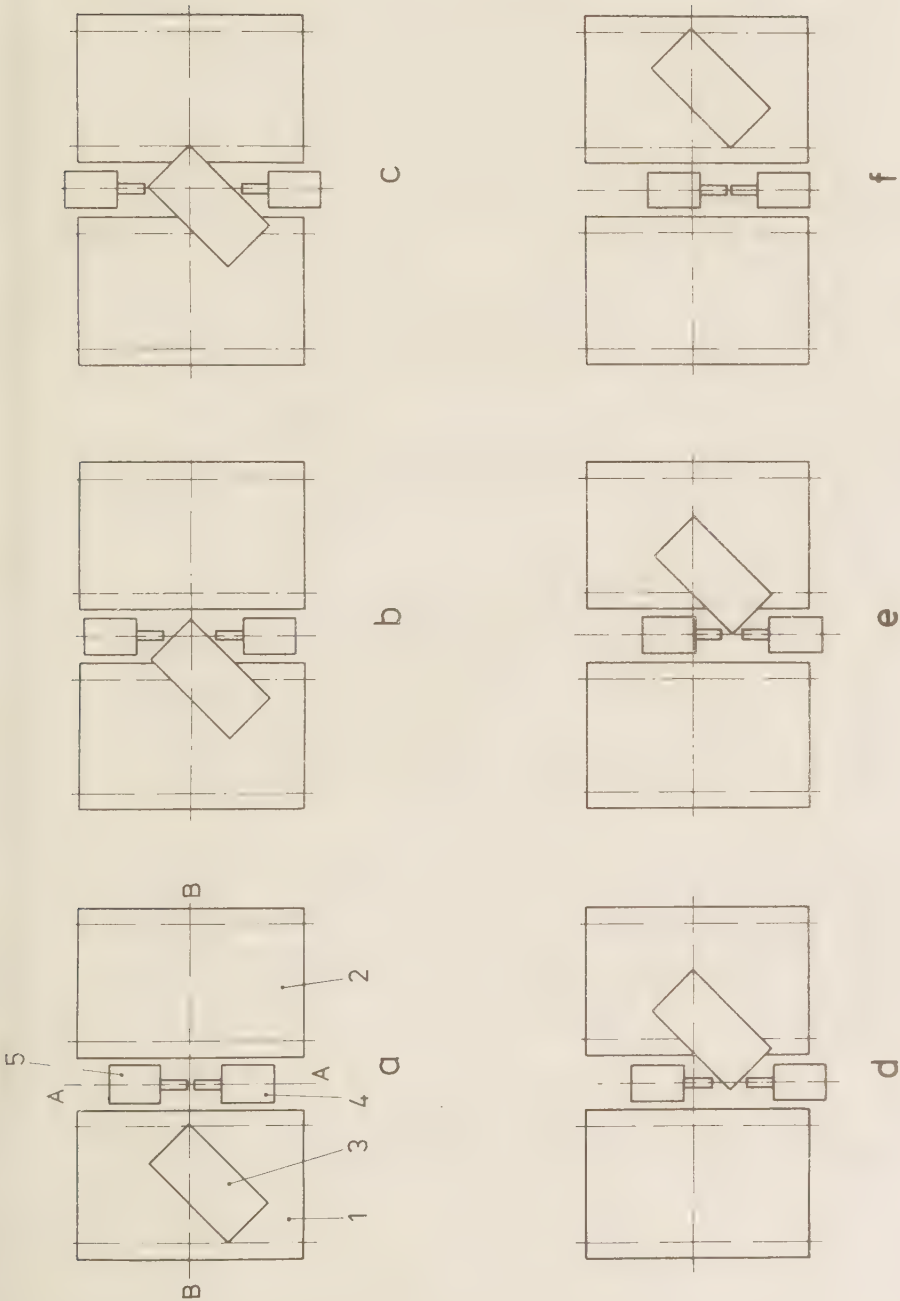


Bild 22 Schematischer Funktionsablauf des Maschinensystems (Erläuterungen im Text)

Die Aufbereitung des Klebers übernehmen die beiden Spritzgießmaschinen (1,2). Liegt der Kleber als Granulat vor, wird er aus einem Trichter mit Rührwerk (3) der Maschine zugeführt. In Blockform kann er direkt der Plastifizierschnecke zugegeben werden. Wegen der starken Klebrigkeit einiger Schmelzkleber muß eine Dosiereinrichtung vor das Schneckenkolbensystem der Spritzgießmaschine eingeschaltet werden. Voruntersuchungen haben ergeben, daß bei stark haftenden Klebern die Plastifizierschnecke allein mit zu großem Durchsatz arbeitet. Hierbei werden neben der Klebermasse auch große Mengen eingeschlossener Luft mitgerissen, die dann fein verteilt als Blasen im Kleber enthalten sind. In der Druckanstiegszone der Plastifizierschnecke kann eine Luftblase aber nur dann wieder abgegeben werden, wenn sie an die Oberfläche des Schneckenkanals kommt. Mit höherem Umwälzgrad steigt für die einzelne Luftblase die Wahrscheinlichkeit, an die Oberfläche zu kommen, stark an. Dies ist aber nur zu erreichen, wenn die Plastifizierschnecke mit einem kleineren Durchsatz arbeitet. Nur dann wird die Klebermasse beim Plastifizieren in den Schneckenkanälen so oft umgewälzt, daß jedes Volumenelement, welches eine Blase enthält, an die Oberfläche kommt und diese abgeben kann. Durch die dosierte Zugabe läßt sich auch stark haftender Schmelzkleber blasenfrei plastifizieren.

Die Dosierung übernimmt dabei eine senkrecht zur Hauptschnecke fördernde Dosierschnecke (4). Sie läßt sich in ihrer Förderung so einstellen, daß der maximal zulässige Luftblasengehalt im plastifizierten Kleber nicht überschritten wird. Untersuchungen über den Entgasungsvorgang beim Plastifizieren von Kunststoffen sind in [15] zu finden.

Die den Kleber verarbeitenden Spritzgießmaschinen müssen entsprechend der einlaufenden Scheibenkontur auf geraden

Bahnen senkrecht zur Scheibentransportrichtung ausweichen (siehe Bild 22). Am einfachsten und funktionssichersten geschieht das, indem die Scheibenkante selbst nach dem Prinzip einer Kurvenführung diese Aufgabe übernimmt. Da die an der Berührungsstelle zwischen Scheibenpaket und Kleberdüse übertragbare Führungsenergie sehr klein ist und zur Bewegung der schweren Plastifiziermaschinen nicht ausreicht, ist diese geringe Führungsenergie zu verstärken. Entsprechend dem gewählten Energieumsatz erfolgt eine Verstärkung über ein hydraulisches Nachführ-Servosystem [18].

Der plastifizierte Kleber wird über einen elektrisch beheizten Hochdruckschlauch (5) der gegenüber der Spritzgießmaschine beweglichen Kleberdüse (6) zugeführt. Als Antrieb für das Verschieben der Spritzgießmaschine dient ein Hydraulikzylinder (7). Um eine möglichst reibungsfreie Relativbewegung zwischen Kleberdüse und Spritzgießmaschine sicherzustellen, ist die Kleberdüse in Kugelbüchsen (8) geführt. Den notwendigen Andruck beim Kleberauftrag besorgen lange Schraubenfedern (9), die eine möglichst gering ansteigende Federkennlinie aufweisen sollen. Die Andruckkraft ändert sich dann mit der Auslenkung nur wenig.

Erreicht eine Kleberdüse die Seitenecke der Scheibe, muß die Düse zur Fortsetzung des Kleberauftrags um 90° gedreht werden. Als Antrieb dient dabei ein Schwenktrieb (10), bei dem die geradlinige Bewegung eines Hydraulikkolbens über Zahnstange und Ritzel in eine Drehbewegung umgewandelt wird.

Den notwendigen Scheibentransport besorgt ein hydraulisch angetriebenes Förderband (11). Über Andruckrollen (12) erhält die Scheibe die erforderlichen Antriebskräfte.

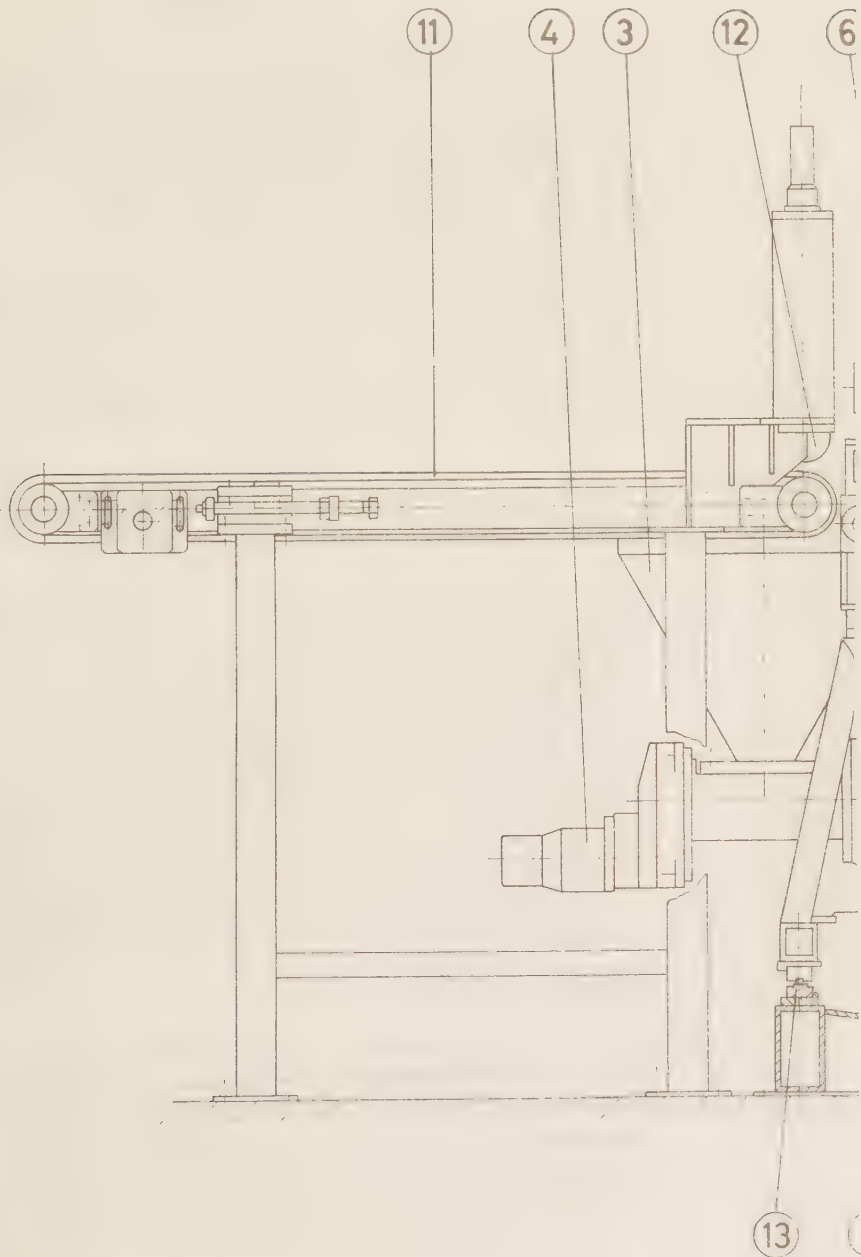
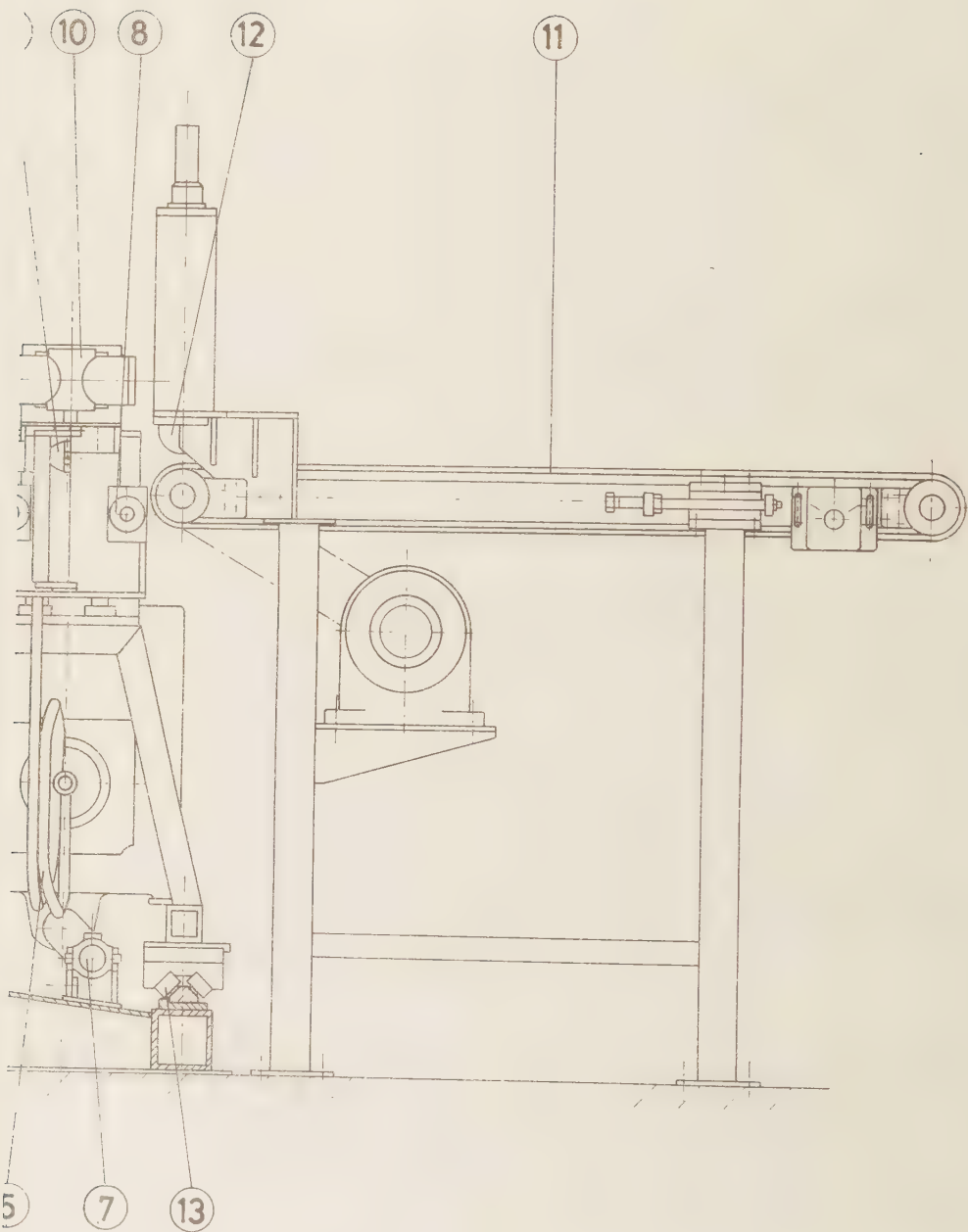


Bild 24 Gesamtkonstruktion im



Längsschnitt (Erläuterungen im Text)

Bild 24 zeigt die Gesamtkonstruktion im Längsschnitt entlang der Linie $\overline{BB}$ in Bild 22. Die Bezugsziffern 1 - 12 sind schon bei Bild 23 erläutert. Deutlich sichtbar sind hier die Wälzführungselemente (13), auf denen die schweren Spritzgießmaschinen verschoben werden.

Zur freien Durchfahrt der Spritzgießmaschine ist das Förderband unterbrochen und in zwei kleinere aufgeteilt. Der Durchlaß ist so bemessen, daß die kleinste geforderte Scheibengröße noch sicher gefertigt werden kann. Über einen Kettentrieb laufen beide Förderbänder synchron.

3.6.2. Konstruktion der Kleberauftragsdüse

Das Auftragen des zähflüssigen Klebers geschieht nach dem Prinzip einer hydrostatischen Gleitführung. Bild 25 zeigt eine Konstruktion, bei der noch zahlreiche Schwachstellen zu beseitigen sind. Falls die Scheiben 2 wie in Bild 25 nicht deckungsgleich übereinander liegen, kann sich ein Benetzungsdruck nur unvollkommen aufbauen, da die Scheibenkante nicht bis an die Kleberdüse heranreicht. Durch den entstehenden Spalt wird Klebermasse herausgedrückt. Wegen der Reibung zwischen Kleberdüse und Glaskante entsteht an der Düse starker Verschleiß. Es werden Riefen in den Düsenkörper eingearbeitet, die zum Absplittern der Glaskanten führen.

Bild 26 zeigt schematisch eine verbesserte Konstruktion der Kleberauftragsdüse. Bei offenem Verschlußstift strömt Klebermasse in die Außenfuge des Scheibenpakets. Gegen die Andruckfedern kann die Düse nach dem Aufbau eines statischen Drucks nach hinten ausweichen. Der Druck innerhalb der Klebermasse ist zur ausreichenden Benetzung zwischen

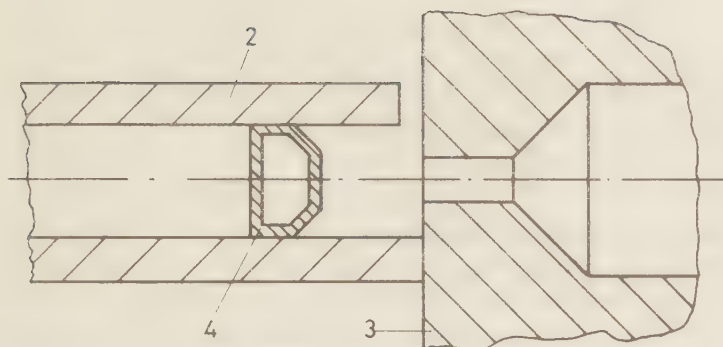


Bild 25 Konstruktion der Kleberauftragsdüse (schematisch)
im Normalschnitt
2 Scheiben; 3 Kleberdüse; 4 Abstandshalter

Scheibe und Kleber nötig. Da der Mengenstrom des Klebers konstant ist, wird bei der entsprechenden Scheibengeschwindigkeit der Kleber mit gleichbleibender Dicke auf den Abstandshalter aufgetragen. Falls die beiden Glasscheiben durch Fertigungsungenauigkeiten nicht deckungsgleich übereinander liegen (wie in Bild 26), ist das bei der vorliegenden Düsenform ohne Einfluß.

Der Anstellwinkel des Gleitschuhes ist negativ gegenüber dem Winkel, der einen hydrodynamischen Schmierdruck erzeugen würde. In Bewegungsrichtung gesehen liegt im vorliegenden Fall der enge Spalt vorn und der weite hinten. Das ist aus dem folgenden Grunde notwendig. Ist der Anstellwinkel null oder positiv, strömt in Bewegungsrichtung der Düse gesehen immer ein Teil der Klebermasse nach vorn und staut sich vor der Engstelle des keilförmigen Schmier-spaltes. Bei diesem Vorströmen "wälzt" der heiße Kleber

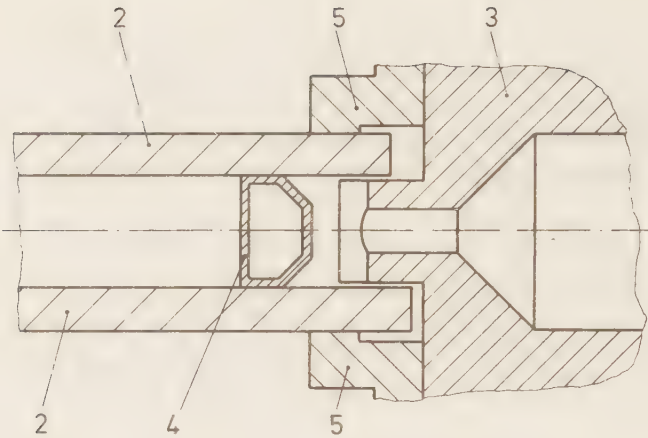


Bild 26 Verbesserte Konstruktion der Kleberauftragsdüse (schematisch) im Normalschnitt; 2 Scheiben; 3 Kleberdüse; 4 Abstandshalter; 5 Höhenführung

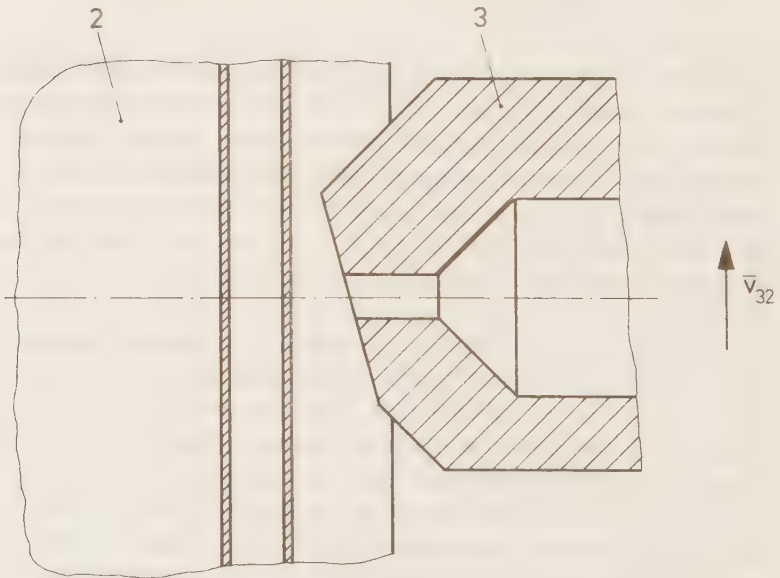


Bild 27 Verbesserte Konstruktion der Kleberauftragsdüse (schematisch) nach Bild 26 im Tangentialschnitt; 2 Scheibenpaket; 3 Kleberdüse; $\bar{v}_{32}$ Relativgeschwindigkeit zwischen Kleberdüse und Scheibenpaket

an der kalten Scheibe entlang und kühlt sich etwas ab. Treffen dann am Schluß beide Teilstränge der Klebdichtung zusammen, ist das Zusammenfließen nicht vollständig möglich. Es bleiben deutlich sichtbare Bindenähte zurück. Entlang einer solchen Bindenaht besteht ein haarfeiner Verbindungskanal zwischen der eingeschlossenen Luftschicht der Isolierscheibe und der Umgebung. Die Isolierscheibe ist damit nicht dicht und unbrauchbar. Macht man aber den Anstellwinkel des Gleitschuhes negativ, so ist die engste Stelle des keilförmigen Schmierspalt in Bewegungsrichtung gesehen vorn. Aus dieser vorderen Engstelle kann keine Klebermasse vorwegströmen und sich abkühlen. Eine Bindenaht tritt an der Schlußecke nicht mehr auf.

In Bild 28 ist eine Konstruktionszeichnung der Kleberauftragsdüse zu sehen. Sobald der Verschlußstift (1) der Düse geöffnet ist, strömt Kleber in die Randfuge des Scheibenpakets (9). Die Höhenführungen (2) laufen auf der glatten Scheibenoberfläche. Ist eine Seitenecke erreicht, muß die Düse um die Drehzapfen (3) um 90° gedreht werden. Als Antrieb dient hierzu die Schwenkwelle (6) eines hydraulischen, in 5.6. näher erläuterten Schwenktriebes. Auf der Schwenkwelle sitzt ein Zahnsegment (5), welches über ein entsprechendes Gegenstück (4) die in Drehzapfen gelagerte Düse verdreht. Ein kleiner Hydraulikkolben (7) betätigt den Verschlußstift. Verschlußstift für die Klebermasse und Hydraulikkolben sollen nicht als ein Bauteil ausgeführt werden, da sonst die Gefahr besteht, daß heiße Klebermasse und Hydrauliköl zusammenkommen. Die räumliche Trennung wird in der vorliegenden Konstruktion durch ein Hebelsystem vermieden.

In einem konzentrischen Doppelrohr wird im Schraubanschluß M die Klebermasse zugeführt. Die Beheizung der Düse erfolgt über Wärmeträgeröl an den Anschlüssen N. Der Einlauf

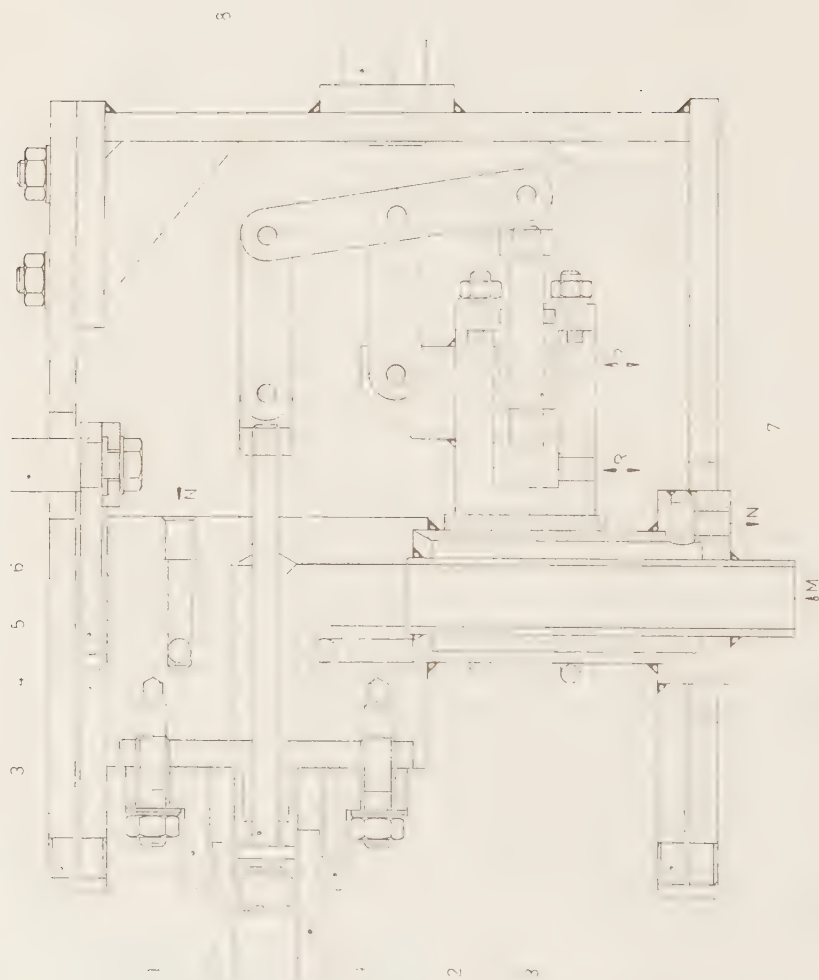


Bild 28 Konstruktionszeichnung der Kleberdüse (Erläuterungen im Text)

erfolgt oben an der Düse und der Austritt unten am Doppelrohr. Im Prinzip liegt eine Gegenstrombeheizung vor. Zur Energieversorgung des Hydraulikkolbens sind die Anschlüsse R vorgesehen.

4. Antrieb und Steuerung des Maschinensystems

4.1. Signalumsatz (Steuerung des Maschinensystems)

Die Fertigung der Isolierglasscheiben soll nach der Aufgabenstellung automatisch erfolgen. Dazu ist die Aufstellung eines Programmablaufplanes für die einzelnen Teilaufgaben notwendig. Es muß möglich sein, zusätzliche Programmschritte in das Steuerprogramm ohne großen Aufwand einfügen zu können. Besonders zu achten ist auf eine geringe Störanfälligkeit der Steuerung. Ein Eingriff von Hand ist an gewissen kritischen Programmstellen vorzusehen.

Den Signalumsatz als Struktur zeigt Bild 29. Dargestellt ist jeweils die ausgeführte Steuerfunktion. Nach dem Programmstart werden die Maschinen in Ausgangsposition gefahren und parallel dazu der Klebervorrat ergänzt. Erst nach Einschalten des Spritzdruckes wird das Signal zum Transport der Scheibe gegeben. Anschließend wird die Scheibe zur Herabsetzung der Aufstoßenergie zwischen Scheibe und Kleberdüse verzögert. Unabhängig hiervon öffnen die Kleberdüsen im voreingestellten Zeitpunkt. Ist eine Seitenecke erreicht, läuft das Eckenprogramm, das Schwenken der Düsen und das Dosieren des Klebermengenstroms ab. Sind die Kleberdüsen wieder zusammen, beginnt das Schlußprogramm zum Abtrennen der Scheiben von den Kleberdüsen. Nach einem Durchlauf läuft das Programm

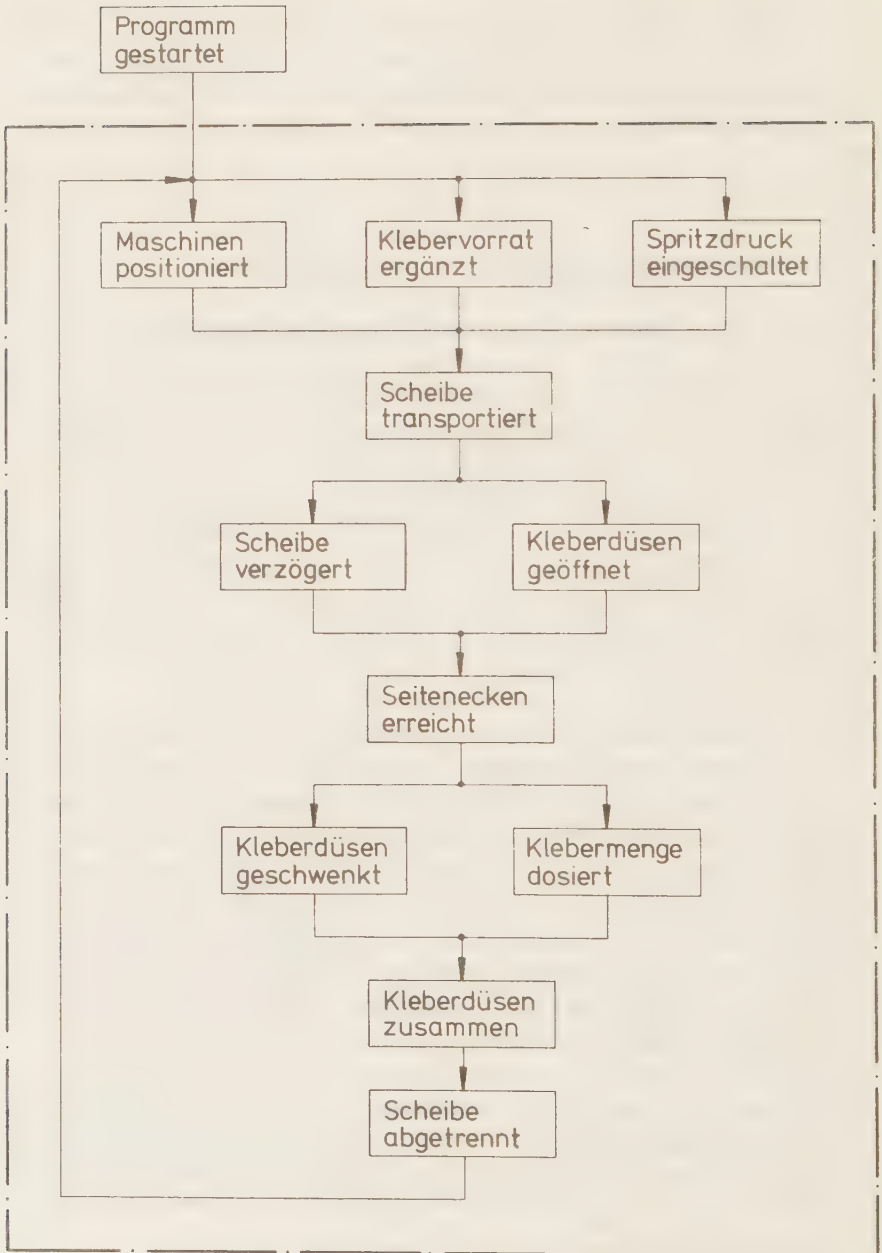


Bild 29 Signalstruktur des Maschinensystems
(Erläuterungen im Text)

selbsttätig wieder von vorn ab.

Im Prinzip steuert das auf dem Förderband transportierte Scheibenpaket seine Fertigung selbst. An den entsprechenden Stellen befinden sich elektrische Schaltkontakte, die dann das Fortführen des fest vorgegebenen Steuerprogramms auslösen. Mit dem Förderband gekoppelt ist ein digitaler Wegaufnehmer, der den zurückgelegten Weg inkremental mißt. Mit Vorwahlzählern läßt sich dann die gewünschte Steuerfunktion an der vorgesehenen Stelle durchführen. Die erreichbare Genauigkeit liegt im vorliegenden Fall bei $\pm 0,03 \text{ mm}$.

In Bild 30 ist der Ablauf des Steuerprogramms dargestellt. Es ist möglich, die meisten Funktionen sowohl in Hand-schaltung als auch im Programm automatisch ablaufen zu lassen. Bild 30 zeigt nur den automatischen Programmablauf.

Der Wahlschalter A1 steht auf Automatik. Die Servosysteme der Spritzgießmaschinen A und B werden eingeschaltet. Mit dem ersten Betätigen der Starttaste A2 wird das Servosystem der Maschine A auf das Positionier-Potentiometer Pot. 3 umgeschaltet. Mit abgeglichenen Pot. 3 steht Maschine A in der richtigen Position auf der Mitte des Förderbandes. Anschließend wird durch Zurückschalten auf die Potentiometer Pot. 1 und Pot. 2 die richtige Stellung der Maschinen zueinander festgestellt. Ist das nicht der Fall, wird der eben geschilderte Einstellvorgang wiederholt.

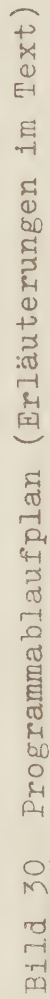
Die Taste A24 gibt automatisches Plastifizieren vor. Der Klebervorrat wird bis zur vorgeschriebenen Menge aufgefüllt. Wenn diese erreicht ist, leuchtet die Startlampe auf. Das System ist einsatzbereit.

Mit dem zweiten Betätigen der Starttaste werden das Förderband und der Spritzdruck für den Kleberauftrag eingeschaltet. Die Vorgabeschalter A5 für das Förderband und A22 für den Spritzdruck müssen dazu vorher eingeschaltet sein. Das Scheibenpaket betätigt mit seiner vorderen Ecke den Anfangsschalter. Folgende Wegzähler werden hier-von gestartet: W1 Druckrolle I senken, Wv1 Düsen öffnen mit Schleichgang, Wv2 Düsen öffnen ohne Schleichgang und W3 Schleichgang Beginn. Mit dem Vorgabeschalter A3 wird vor dem Zusammentreffen zwischen Scheibenpaket und Kleberdüsen der Schleichgang des Förderbandes eingeschaltet.

Ist die eingestellte Impulsvorgabe W1 erreicht, senkt sich die Druckrolle I auf das Scheibenpaket von oben herab und drückt es kraftschlüssig auf das Förderband. Nach Ablauf der Impulse von W3 schaltet das Band auf Schleichgeschwindigkeit um. Gleichzeitig wird der Zähler W4 für die Strecke des Schleichganges gestartet. Mit Ablauf der Impulse für Wv1 bzw. Wv2 öffnen die Düsen A und B. Zweckmäßigerweise geschieht das Öffnen der Düsen kurz vor dem Zusammentreffen zwischen Scheibenpaket und Kleberdüsen, um ein Lassepolster auftragen zu können. Ist die Impulsvorgabe von W4 erreicht, schaltet das Förderband auf normale Geschwindigkeit zurück.

Die einlaufende Scheibenkontur drückt die fortlaufend Kleber auftragenden Düsen nach außen. Über ein hydraulisches Servosystem werden die beiden Spritzgießmaschinen analog nachgesteuert. Durch die Andruckfedern bleiben die Kleberdüsen stets an die Scheibenkontur angedrückt.

Nach Betätigung der Eckschalter A bzw. B starten die Weg-zähler W5A, W6A und W5B, W6B. Mit der Impulsvorgabe W7A



und W5B wird der Schwenkpunkt der Kleberdüsen um 90° an den Seitenecken eingestellt. Unabhängig davon kann mit den Vorgaben W6A und W6B der Einsatzpunkt für eine Veränderung des Klebermengenstroms eingestellt werden. Die Dosierstrecke läßt sich über die Impulsvorgaben W7A und W7B festlegen. Ist die Impulzzahl W9 erreicht, senkt sich Druckrolle II nach unten.

Treffen die beiden Kleberdüsen an der Schlußecke wieder zusammen, starten die Wegzähler W8, W10 und W11. Ist die Impulsvorgabe W8 erreicht, schließen die Kleberdüsen. Die letzte Ecke der Scheibe betätigt den Anfangsschalter und Druckrolle I geht nach oben. Mit Erreichen der Impulsvorgabe W11 wird das Förderband auf Rückwärtsgang geschaltet. Wahlweise ist hier Normalgang, Schleichgang oder auch Stillstand möglich. Die Servosysteme A und B werden abgeschaltet und der Wegzähler W12 für die Rückfahrstrecke gestartet. Beim Rückwärtsfahren können die Kleberdüsen A und B unter einem flachen Winkel von den Seitenkanten abgehoben werden. Der Winkel ist einstellbar. Es liegt hier der Fall H5 (siehe Seite 36), Kleber abtrennen bei Schub- und Zugbeanspruchung, vor.

Wird das Förderband an der Schlußecke auf Stillstand geschaltet, bleiben die Kleberdüsen eine bestimmte Zeit auf der schon fertiggestellten Klebdichtung stehen. Während dieser Zeit kühlt sich die Masse der Klebdichtung durch Wärmeabfuhr in die kalte Scheibe ab. Die Festigkeit wird also im Bereich der Klebdichtung heraufgesetzt. Innerhalb der Klebdichtung soll ja auch keine Trennung stattfinden. An der Kleberdüse dagegen bleibt durch ständige Wärmezufuhr der Kleber flüssig. Die schlechte Wärmeleitfähigkeit des Klebers verhindert dabei eine Wärmezufuhr bis in die Klebdichtung hinein. Nach Ablauf der vorgegebenen Zeit wird die Kleberdüse von der Klebdichtung abgezogen. Die Trennung erfolgt unmittelbar an der Gleitfläche der Düse.

Nach der Trennung von Kleberdüsen und Isolierglasscheibe ist diese fertiggestellt und wird abtransportiert. Das Programm ist einsatzbereit für die nächste Scheibe.

Das vorliegende Steuerprogramm ist mit elektronischen Schaltkreisen aufgebaut. Diese sind auf frei programmierbaren Steckkarten angeordnet. Durch Ändern der elektrischen Verknüpfungen ist das Programm leicht abwandelbar. Die Bestückung mit Schaltkreisen der langsamen störsicheren Logik garantiert eine hohe Unempfindlichkeit gegen äußere Störeinflüsse. Das gesamte Programm ist zur Kontrolle von Hand ohne Durchlauf einer Scheibe simulierbar. Über Anzeigelampen wird dabei jede einzelne Steuerfunktion registriert.

4.2. Energieumsatz (Antrieb des Maschinensystems)

Die Maschinenanlage wird hydraulisch angetrieben. Einige Entscheidungsgründe für die Hydraulik sind bereits in 3.6.1. genannt, ein weiterer liegt darin, daß die verwendeten, marktüblichen Spritzgießmaschinen ausschließlich hydraulisch angetrieben werden.

Bild 31 zeigt den Hydraulikplan. Für das Förderband, die beiden Spritzgießmaschinen und die Steuerhydraulik ist je ein E-Motor mit einer Pumpe vorgesehen.

Im Hydraulikkreis des Förderbandantriebs liegt ein Servoventil (323), welches über einen Tachogenerator (331) die Drehzahl des langsamlaufenden Hydromotors (15) konstant hält. Der Sollwert der Drehzahl und damit die Transportgeschwindigkeit kann vorgegeben werden.

Der Antrieb der Spritzgießmaschinen A und B ist identisch. Es soll hier nur der der Maschine B beschrieben werden.

Der E-Motor (2) treibt die Pumpe (12) mit Nullhubregelung. Diese Pumpe versorgt die Hydromotoren (21,22) der Plastifizierschnecke, den Motor (312) der Dosierschnecke und den Spritzkolben (268) zum Ausstoß der Klebmasse. Normalerweise befindet sich das 2/2 Wegeventil (119) in geöffneter Stellung. Die Pumpe (12) steht hierbei auf Minimalförderung. Dieser Strom dient zur Eigenverstellung der Pumpe. Zum Betrieb wird das 2/2 Wegeventil (120) geöffnet und das andere Wegeventil (119) geschlossen. Die Pumpe wird bis zum maximalen Förderstrom verstellt, indem der Steuerkolben hereingedrückt wird. Mit einem Anschlag auf der Kolbenstange wird über einen Endschalter das 2/2 Wegeventil (120) wieder geschlossen.

Zum Plastifizieren wird über den vorgesteuerten 4/3 Wegeventilblock (313) der Ölstrom auf die beiden Hydromotoren (21,22) geleitet. Gleichzeitig öffnet das 2/2 Wegeventil (122) und über das Druckbegrenzungsventil (48) kann der Plastifizier-Staudruck des Schneckenkolbens (268) eingestellt werden. Die Dosierschnecke wird über das 4/2 Wegeventil (312) betätigt.

Schaltet das Wegeventil (313) um, kann mit dem Schneckenkolben (268) die Klebermasse ausgestoßen werden. Die Menge wird mit dem Drosselventil (157) eingestellt. Damit der Druck dieser Konstantstromquelle bei noch geschlossenen Kleberdüsen nicht zu hoch ansteigt, ist das Druckbegrenzungsventil (33) nachgeschaltet. Soll an der Seitenecke der Klebermengenstrom dosiert werden, öffnet das 2/2 Wegeventil (121) und gibt den mit dem Drosselventil (158) eingestellten Konstantstrom frei. Die Rückschlagventile

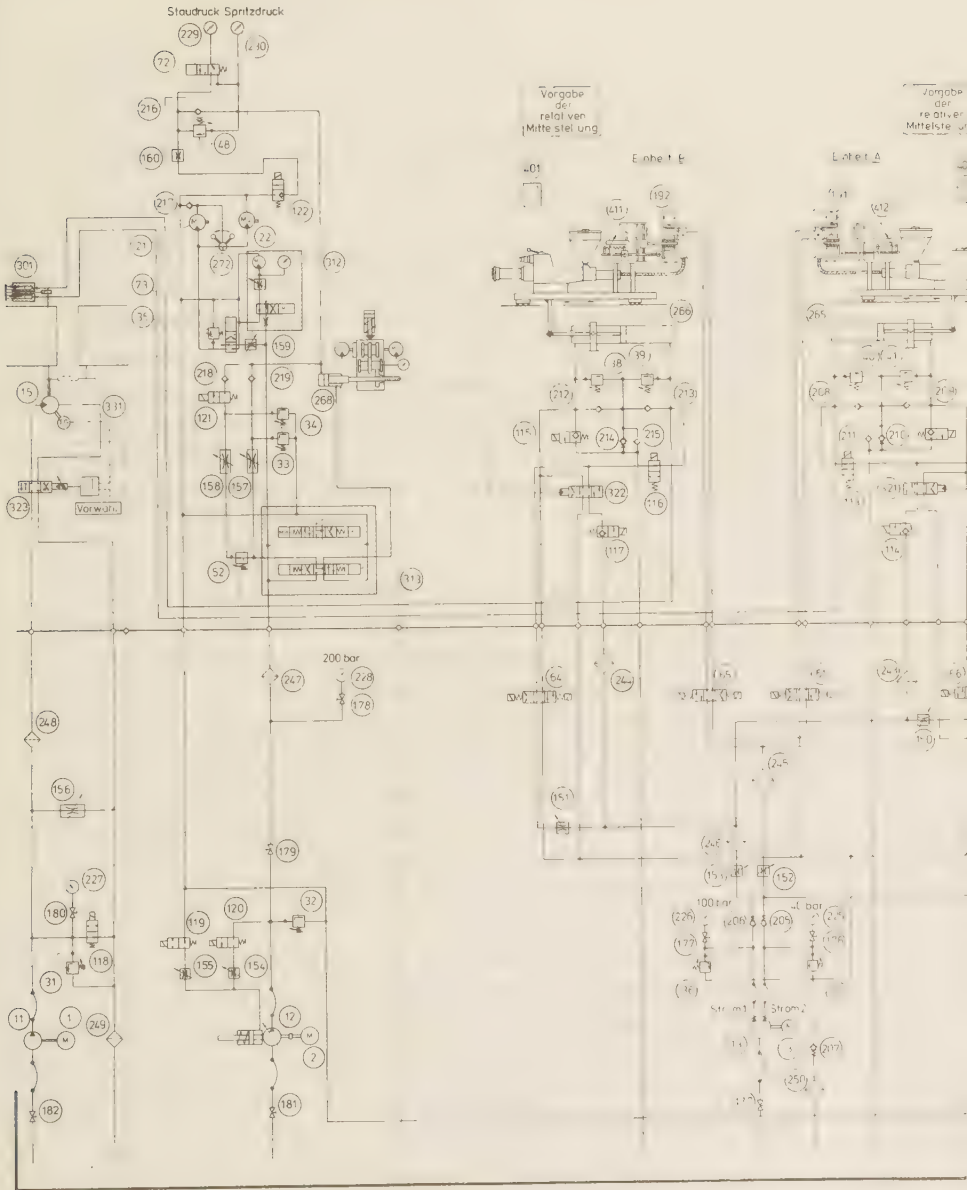
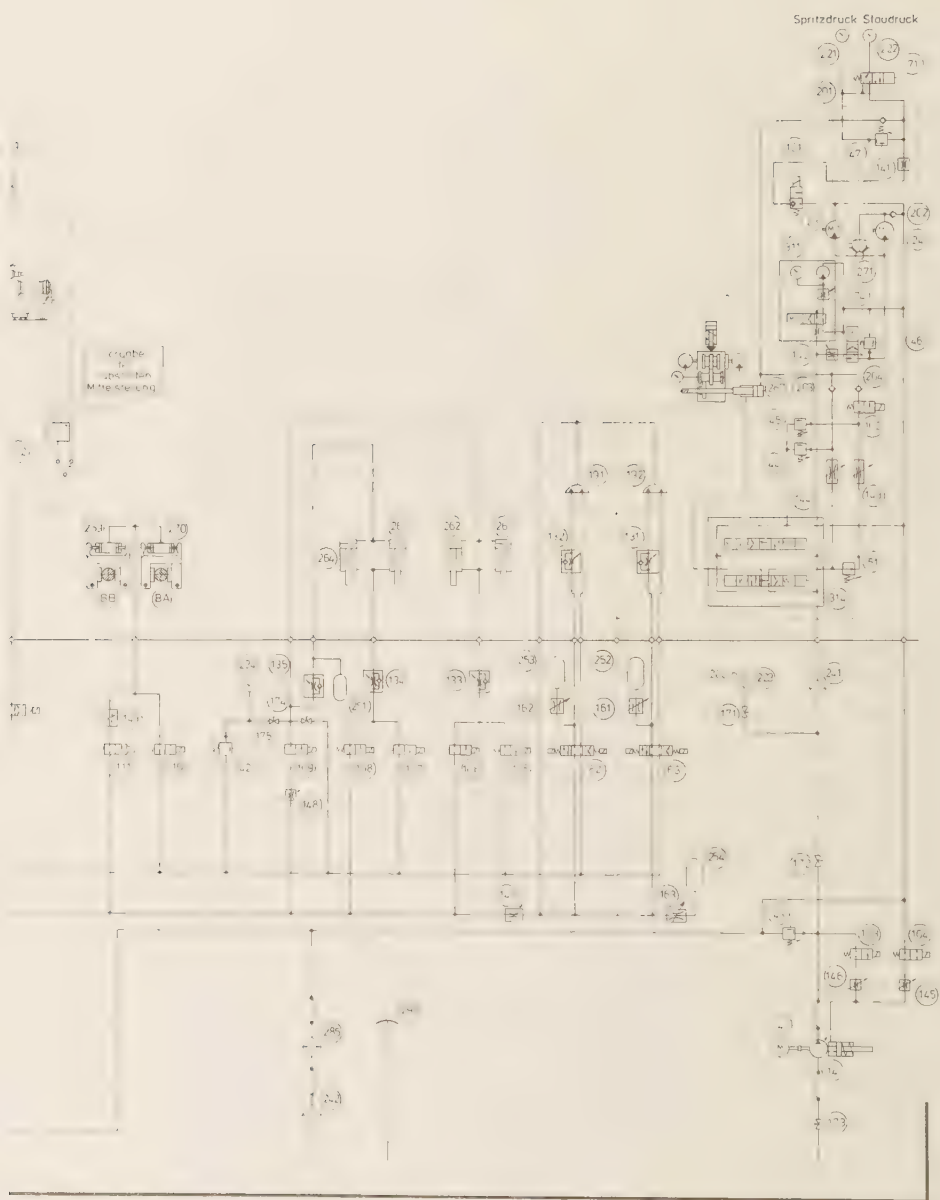


Bild 31 Hydraulikplan (



Erläuterungen im Text)

(218) und (219) entkoppeln die beiden Konstantstromquellen.

Der E-Motor (3) treibt die Doppelpumpe (13) für die Steuerydraulik an. Der Strom 1 dient nur zur Bewegung der Spritzgießmaschinen, während mit Strom 2 die übrigen Steuereinrichtungen betrieben werden. Diese Lösung, den Strom 1 nur für die Fahrbewegung der Spritzgießmaschinen zu nehmen, ist deshalb notwendig, weil weitere, später zugeschaltete Verbraucher im Strom 1 die Fahrbewegung und dadurch die Gleichmäßigkeit des Kleberauftrags stören können.

Das Verschieben der Spritzgießmaschine ist mit zwei voneinander getrennten Schaltungen möglich. Bei Handbetrieb wird das 4/3 Wegeventil (64) betätigt. Für das Fahren bei Automatikbetrieb benutzt man das Servoventil (322), welches von dem Linear-Potentiometer (441) der Klebdüse unter Zwischenschaltung des Servoverstärkers (401) verstellt wird. Dabei muß das 2/2 Wegeventil (117) zur Versorgung des Servoventils mit Drucköl geöffnet sein. Zur Verschiebung der Maschine dient in beiden Fällen der Hydraulikzylinder (266).

Zum Öffnen und Schließen des hydraulisch betätigten Schließstiftes der Kleberdüse dient das 4/3 Wegeventil (62). Das Drehen der Kleberdüsen um 90° an der Seitenecke geschieht mit dem 4/3 Wegeventil (62). Die Andruckzylinder (104 bis 109) der Druckrollen werden durch die 2/2 Wegeventile (105 bis 109) betätigt.

Beim Rücklauf des Bandes an der Schlußecke muß die Relativbeweglichkeit zwischen Klebdüse und Spritzgießmaschine blockiert werden. Dazu dient die vom 2/2 Wegeventil (111) betätigte Bremse (269). Das Verschieben der

Spritzgießmaschinen besorgt dann der über einen Freilauf mit der Förderbandbewegung gekoppelte Doppelzylinder (301). Das von diesem verdrängte Öl gelangt auf den Zylinder (266). Das 2/2 Wegeventil (115) öffnet dabei der Kolbenrückseite des Hydraulikzylinders (266) den Weg zum Tank, während das Wegeventil (116) Leckverluste des vom Doppelzylinder (301) verdrängten Öles über das Servoventil (322) verhindert.

Auf die Bedeutung der Speicher (252 bis 254) für die Drehung der Kleberdüse wird an anderer Stelle noch ausführlich eingegangen.

Folgende Betriebsdrücke sind erforderlich:

Förderbandantrieb	35 bar
Plastifizieren und Spritzen	200 "
Steuerstrom 1 (nur Fahren)	100 "
Steuerstrom 2 (übrige Funktionen)	50 "

5. Untersuchung des Maschinensystems

Das Auftragen des Klebers erfolgt nach dem Prinzip einer hydrostatischen Gleitführung, welche in ihrer Wirkungsweise näher zu untersuchen ist. Weitere Schwerpunkte sind die Bewegungszusammenhänge zwischen Scheibe und Maschinensystem. Zur Frage der maximalen Arbeitsgeschwindigkeit ist der Bewegungsablauf schwingungsmäßig zu erfassen. Das Ergebnis ist zu vergleichen mit dem experimentell ermittelten Amplitudenfrequenz- und Phasenfrequenzgang des gedämpften nichtlinearen Feder-Masse Systems, gebildet von hydrostatischer Gleitführung und Andruckfeder einerseits und der Masse der Kleberdüse andererseits.

5.1. Kennfeld der hydrostatischen Gleitführung zum Kleberauftrag

Wie in 3.4.2. bereits angegeben, muß die Kleberdüse an der Scheibenkante entlang geführt werden und dabei einen bestimmten Druck innerhalb der noch zähflüssigen Klebdichtung zur ausreichenden Benetzung aufbringen. Diese Bedingungen erfüllt eine hydrostatische Gleitführung bereits im Stillstand. Sie wird im folgenden näher untersucht.

Die Gleitfläche der Kleberdüse ist schräg angestellt. Nimmt man an, daß die Kleberdüse relativ zum Scheibenpaket mit der Geschwindigkeit $\bar{v}_{32}$ geführt wird, so liegt die engste Stelle des Schmierkeiles in Bewegungsrichtung gesehen vorn. Diese vordere Engstelle ist notwendig, um ein Vorlaufen und das damit verbundene Abkühlen der Klebermasse zu verhindern. Andernfalls bilden sich Bindenähte an der Schlußecke.

Der Anstellwinkel α der Gleitfläche wird von zwei verschiedenen Gesichtspunkten eingegrenzt. Macht man den Winkel α zu klein, wird die vordere Engstelle durch das Abheben zu groß und es läuft Kleber vorweg und kühlt sich ab. Bei zu großem Anstellwinkel α ist der erzeugbare Druck in der Klebermasse zu klein, weil zuviel Kleber nach hinten entweichen kann. Durch systematisches Variieren hat sich in Versuchen ein Anstellwinkel von $\alpha = 7,5^\circ$ als günstig herausgestellt.

Zur Erzeugung des Benetzungsdruckes p_D in der Klebdichtung muß die Gleitfläche A_D unter dem Anstellwinkel α mit der Kraft F_D angedrückt werden. Die Gleichung lautet dann

$$p_D = \frac{F_D \cdot \cos \alpha}{A_D} \quad (36)$$

Mit der Länge l_D und der Breite b_D der Gleitfläche A_D ergibt sich

$$l_D = \frac{F_D \cdot \cos \alpha}{p_D \cdot b_D} \quad (37)$$

In Gl.(37) liegt die Düsenbreite durch die für alle Scheibengrößen gleiche Höhe des Abstandshalters bereits fest. Die Anpreßkraft F_D darf einen bestimmten Maximalwert nicht überschreiten, sonst biegt sich der Abstandshalter zu weit nach innen durch. Zur sicheren Benetzung ist ein Mindestdruck p_D erforderlich. Folgende Grenzwerte sind einzuhalten:

$$F_D < 8 \text{ N} \quad (38)$$

$$p_D > 4 \text{ N/cm}^2 \quad (39)$$

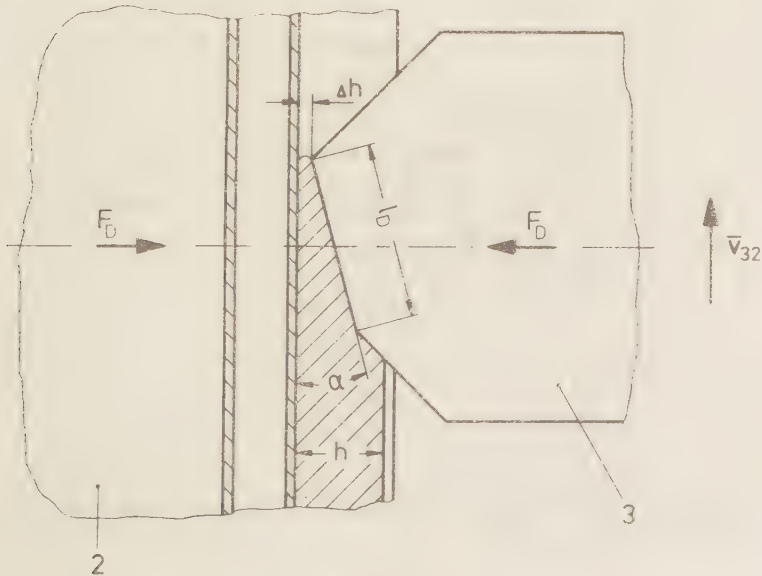


Bild 32 Hydrostatische Gleitführung im Tangentialschnitt.
Erläuterungen im Text

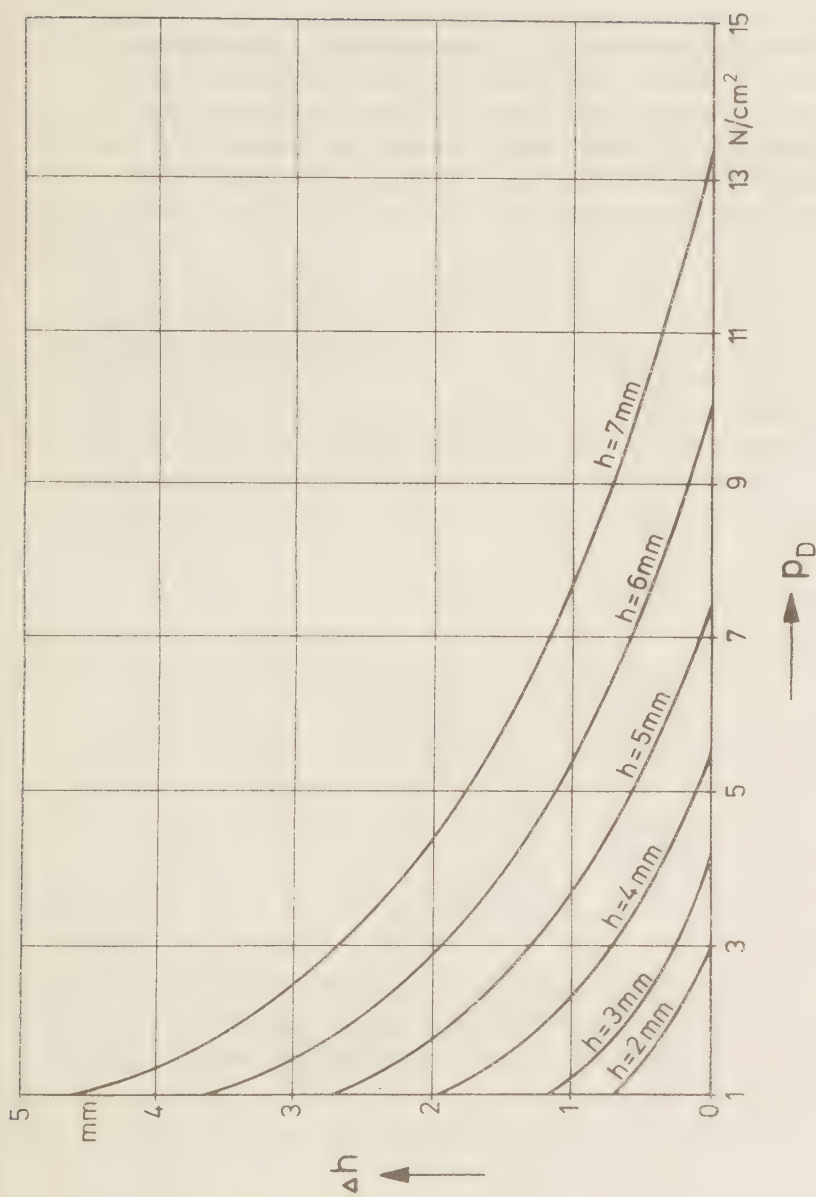


Bild 30 Abhebung Δh der Kleberdüse in Abhängigkeit von der Flächenpressung p_D für eine bestimmte Auftragshöhe h der Klebdichtung (Erläuterungen im Text)

In Bild 34 ist die experimentell ermittelte Abhebung Δh über dem Anpreßdruck p_D der Kleberdüse für bestimmte Auftragsdicken h der Klebdichtung im Kennfeld der Kleberdüse aufgetragen. Ab einem oberen Grenzwert der Anpressung p_D findet kein Abheben mehr statt. Mit sehr guter Annäherung läßt sich das gemessene Kennfeld durch die Gleichung

$$\Delta h [\text{mm}^{-1}] = 0,25 \cdot h^{3/2} [\text{mm}^{-3/2}] \cdot \left[1 - \frac{\ln p_D [N^{-1} \cdot \text{cm}^2]}{0,3 \cdot h [\text{mm}^{-1}] + 0,5} \right] \quad (41)$$

beschreiben.

5.2. Kinematik der Maschinenbewegung

Das Scheibenpaket 2 wird nach Bild 35 geradlinig gegenüber der ruhenden Bezugsebene 1 bewegt. Der Punkt A der scheibenfesten Ebene 2 läuft dabei auf der Kurvenbahn k_{A21} . Die Kleberdüse 3 weicht der Scheibenkontur seitlich aus. Ein düsenfester Punkt A bewegt sich auf der geradlinigen Kurvenbahn k_{A31} . Die Düse 3 ist am Düsengestell 4 drehbar gelagert, während das Düsengestell 4 gegenüber der Spritzgießmaschine 5 geradlinig verschiebbar ist. Wird die Düse 3 nicht gedreht, so fallen die Kurvenbahnen des Punktes A der Ebenen 3, 4 und 5 in der Ebene 1 zusammen. Es gilt also: $k_{A31} = k_{A41} = k_{A51}$. Für die kinematische Untersuchung der Bewegungsverhältnisse zwischen Kleberdüsen 3 und Scheibenpaket 2 kann die Verschiebbarkeit des Düsengestells 4 gegenüber der Spritzgießmaschine 5 außer acht gelassen werden.

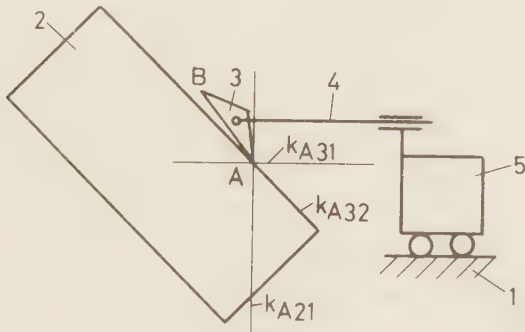


Bild 35 Kinematik der Maschinenbewegung
2 Scheibenpaket; 3 Kleberdüse; 4 Düsengestell;
5 Spritzgießmaschine

Die Andruckfläche der Kleberdüse 3 liegt in Bild 36 zwischen den Punkten A und B. Punkt A liegt in Relativbewegungsrichtung der Düsen gegenüber dem Scheibepaket gesehen vorn. Solange die Düse 3 an der geraden Scheibenkante entlangfährt, weicht der Düsenpunkt A nach Bild 37 mit konstanter Geschwindigkeit $\bar{v}_{A31}$ aus. Die Relativgeschwindigkeit $\bar{v}_{A32}$ ist dann das $\sqrt{2}$ -fache der Transportgeschwindigkeit $\bar{v}_{A21}$. An der Seitenecke selbst wird die Geschwindigkeit $\bar{v}_{A31} = 0$ (Bild 37, Pos. b) und ihre Richtung kehrt sich um.

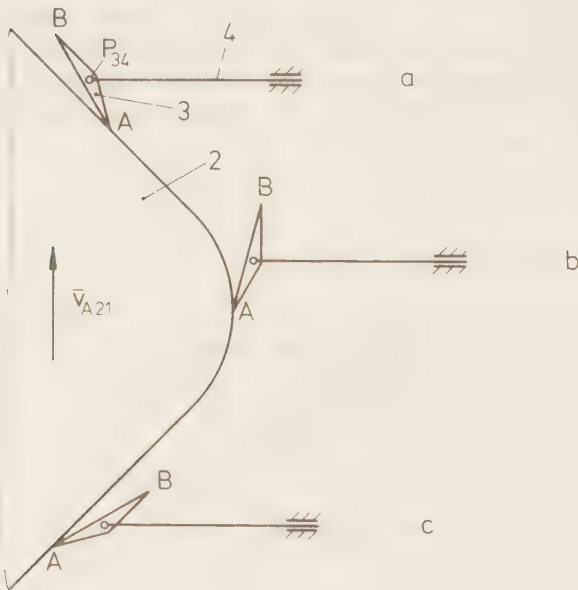


Bild 36 Kinematik der Maschinenbewegung
2 Abstandshalterkontur; 3 Schwenkdüse;
4 Düsengestell

Im Bild 36 liegt der Drehpunkt P_{34} der Düse in allgemeiner Lage zwischen den Punkten A und B. Durch diese Lage erzeugt die Winkelgeschwindigkeit $\bar{\omega}_{34}$ in den Punkten A und B die Geschwindigkeiten $\bar{v}_{A34}$ bzw. $\bar{v}_{B34}$. Die Geschwindigkeit $\bar{v}_{A34}$ verläuft in ihrer Richtung auf das Scheibenpaket zu, während $\bar{v}_{B34}$ von ihr weggerichtet ist. Weil die Kleberdüse im Punkte A nicht in die Scheibenkontur eindringen kann, wird beim Drehen an der Seitenecke unter der in Bild 36 gezeigten Lage von P_{34} das Düsengestell 4 zusätzlich mit einer Teilkomponente aus der Geschwindigkeit $\bar{v}_{A34}$ von der Scheibe wegbewegt. Dieser Nachteil läßt sich, wie Versuche bestätigt haben, dadurch beseitigen, daß man den Drehpunkt P_{34} mit dem Punkt A zusammenfallen läßt. Bild 38 zeigt die verbesserte Lagerung. Die Verschiebewegung der Düsengabel 4 und die Drehbewegung der Düse 3 sind dann entkoppelt.

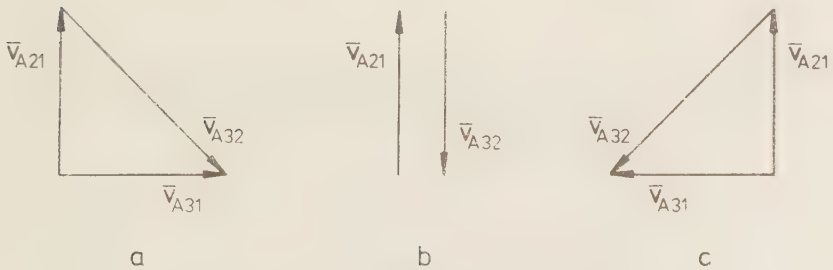


Bild 37 Geschwindigkeitspläne der Maschinenbewegung nach Bild 36

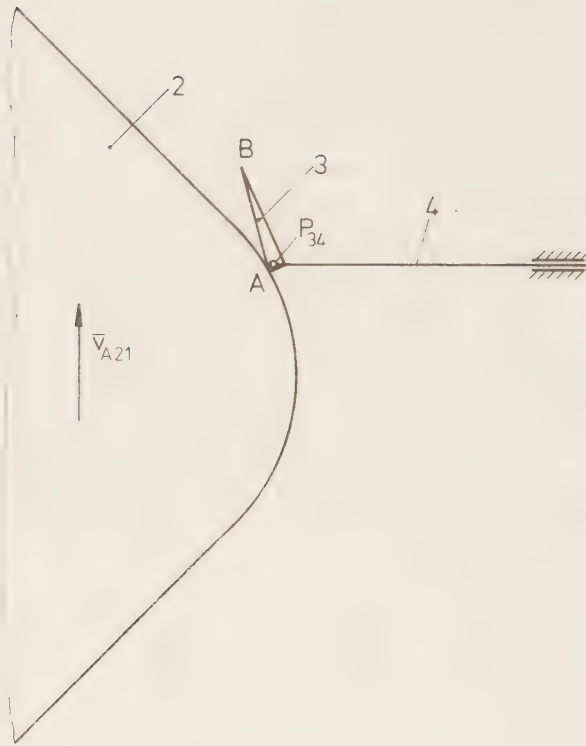


Bild 38 Verbesserte Lage des Drehpunktes P_{34} im Punkt A
2 Abstandshalterkontur; 3 Schwenkdüse;
4 Düsengestell

5.3. Schwingungsanalyse der Maschinenbewegung

Betrachtet man für den Sonderfall quadratischer Scheibenpakete die Bewegung einer Spritzgießmaschine in ihrem zeitlichen Verlauf, so ergibt sich das in Bild 39 schematisch gezeigte Weg-Zeit Gesetz.

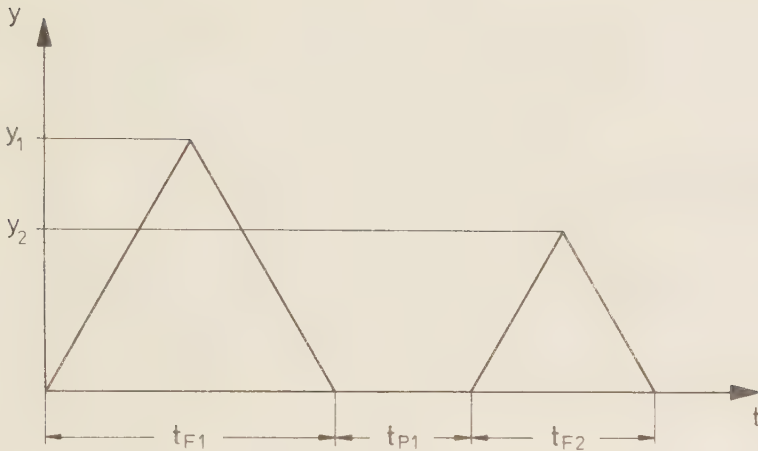


Bild 39 Weg-Zeit Verlauf der Bewegung einer Spritzgießmaschine bei quadratischen Scheiben.

$t_{F1,2}$ Fertigungszeit der Scheibe 1,2

$y_{1,2}$ Maschinenauslenkung bei der Scheibe 1,2

Während der Fertigungszeit t_{F1} der Scheibe 1 bewegt sich die Spritzgießmaschine zunächst bis zur größten Auslenkung y_1 nach einem linearen Weg-Zeit Gesetz nach außen, um dann nach der Richtungsumkehr wieder bis zur Mittellinie des Förderbandes zurückzukehren. Ist die Zeit t_{P1} abgelaufen, in der der verbrauchte Kleber ergänzt und das Maschinensystem neu abgeglichen wird, folgt das nächste Scheibenpaket 2 mit der größten Auslenkung y_2 . Das Bild 39 zeigt den Bewegungsverlauf einer Maschine im Zeitbereich. Eine Umrechnung in den Frequenzbereich kann allgemein mit der Fourier-Transformation erfolgen.

Bei dem gezeigten Weg-Zeit Verlauf handelt es sich um nacheinander ablaufende Einzelvorgänge, also um nicht-periodische Funktionen. Zur Berechnungsvereinfachung soll aus der nichtperiodischen Funktion eine periodische gemacht werden. Durch Wahl einer hinreichend langen Periodendauer T läßt sich nach [16] jede nichtperiodische in eine periodische Funktion mit der Periodendauer T mit jeder gewünschten Genauigkeit umwandeln. Hauptkriterium für die Wahl der Periodendauer T ist, daß der Einzelvorgang vollkommen abgeklungen ist. Für die periodische Funktion kann mit Hilfe der Fourier-Analyse das Amplituden-Frequenz Spektrum in Form einer Fourier-Reihe dargestellt werden.

Die Bilder 40 - 42 zeigen die periodische Funktion in zweckmäßiger Darstellung. In Bild 40 ist die periodische Funktion im Wegbereich $f(x)$ zu sehen, während Bild 41 die Darstellung im Zeitbereich $f(t)$ zeigt. T_1 ist die Periodendauer der Grundschiwingung. Um die betrachtete periodische Funktion durch eine trigonometrische Reihe ausdrücken zu können, ist es notwendig, sie in den Winkelbereich $f(\bar{x})$ zu übertragen. Bild 42 zeigt die Funktion $f(\bar{x})$. Es empfiehlt sich, zur Rechenvereinfachung die Funktion symmetrisch zum 0-Punkt als gerade Funktion darzustellen. Sie verläuft periodisch mit dem Wert 2π . Für den vorliegenden Fall muß die Größe von x als Strecke in das Bogenmaß $\bar{x}$ umgerechnet werden.

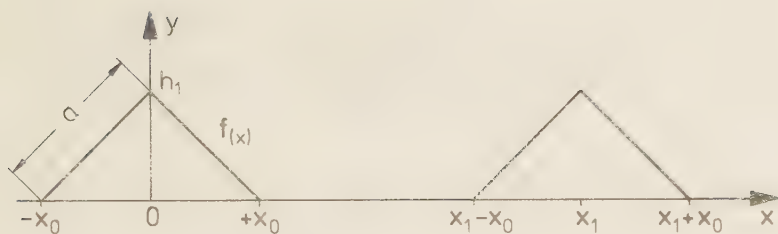


Bild 40 Darstellung der Maschinen-Bewegungsfunktion im Wegbereich $f(x)$. a Kantenlänge der Scheibe

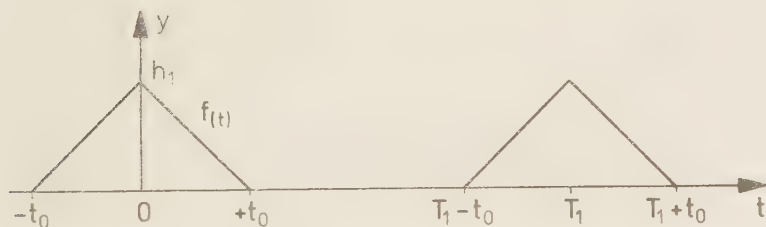


Bild 41 Darstellung der Bewegungsfunktion aus Bild 40 im Zeitbereich $f(t)$. T_1 Periodendauer der Grundschiwingung

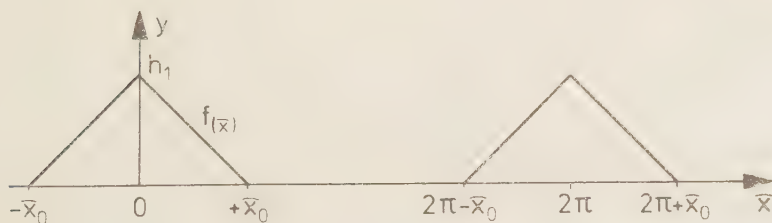


Bild 42 Darstellung der Bewegungsfunktion aus Bild 40 im Winkelbereich $f(\bar{x})$. Periode 2π

Das quadratische Scheibenpaket hat die Kantenlänge a und wird mit der Förderbandgeschwindigkeit v_B transportiert. Es ergeben sich folgende Zusammenhänge:

$$x = v_B \cdot t \quad (42)$$

$$\bar{x} = 2\pi \frac{t}{T_1} \quad (43)$$

Setzt man in Gl. (42) den Wert x_1 ein, ergibt sich die Periodendauer T_1

$$T_1 = \frac{2 \cdot \sqrt{2} \cdot a}{v_B} \quad (44)$$

Daraus folgt:

$$\bar{x} = \frac{\pi}{\sqrt{2} \cdot a} x = \frac{\pi}{\sqrt{2} \cdot a} v_B \cdot t \quad (45)$$

Für die Funktion $f(\bar{x})$ ergeben sich die Umrechnungen

$$h_1 = \frac{a}{\sqrt{2}} \quad (46)$$

$$\bar{x}_0 = \frac{\pi}{2} \quad (47)$$

Sie lautet dann:

$$f(\bar{x}) = \frac{a}{\sqrt{2}} - \frac{a \cdot \sqrt{2}}{\pi} \bar{x} \quad 0 \leq \bar{x} \leq \frac{\pi}{2} \quad (48, 49)$$

$$f(\bar{x}) = 0 \quad \frac{\pi}{2} \leq \bar{x} \leq \frac{3\pi}{2} \quad (50, 51)$$

Als allgemeine Lösung ergibt sich die Fourier-Reihe zu:

$$f(\bar{x}) = \frac{a_0}{2} + \sum_{k=1}^{\infty} (a_k \cdot \cos k\bar{x} + b_k \cdot \sin k\bar{x}) \quad (52)$$

Die Fourier-Koeffizienten a_k und b_k können folgendermaßen bestimmt werden:

$$a_k = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f(\bar{x}) \cdot \cos k\bar{x} \, d\bar{x} \quad k = 0, 1, 2, \dots \quad (53)$$

$$b_k = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f(\bar{x}) \cdot \sin k\bar{x} \, d\bar{x} \quad k = 1, 2, 3, \dots \quad (54)$$

Aus dem Verlauf der Funktion $f(\bar{x})$ im Bild 37 sieht man, daß sich gewisse Vereinfachungen vornehmen lassen. Es handelt sich um eine gerade Funktion, weil $f(\bar{x}) = f(-\bar{x})$ ist. Es folgt hieraus:

$$a_k = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{+\pi} f(\bar{x}) \cos k\bar{x} \, d\bar{x} = \frac{2}{\pi} \int_0^{\pi} f(\bar{x}) \cos k\bar{x} \, d\bar{x} \quad (55)$$

$$b_k = 0 \quad (56)$$

Werden die Werte für $f(\bar{x})$ eingesetzt, ergibt sich:

$$a_k = \frac{2}{\pi} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \left(\frac{a}{\sqrt{2}} - \frac{a\sqrt{2}}{\pi} \bar{x} \right) \cdot \cos k\bar{x} \, d\bar{x} \quad (57)$$

Mit Additionstheoremen kann das Integral für a_k gelöst werden [17].

$$a_k = \frac{4 \cdot a^2}{\sqrt{2} \cdot \pi^2} \left(\frac{1 - \cos k \cdot \frac{\pi}{2}}{k^2} \right) \quad k = 1, 2, 3, \dots \quad (58)$$

Der Fall $k = 0$ für das Glied a_0 läßt sich durch mehrfaches Anwenden der Regel nach l'Hospital bestimmen:

$$a_0 = \frac{a \cdot \sqrt{2}}{4} \quad (59)$$

Die vorgegebene Funktion $f(\bar{x})$ lautet dann als Fourier-Reihe:

$$f(\bar{x}) = a \left(\frac{\sqrt{2}}{8} + \frac{1 \cdot \sqrt{2}}{\pi^2} \sum_{k=1}^n \frac{1 - \cos k \cdot \frac{\pi}{2}}{k^2} \cos k \cdot \bar{x} \right) \quad (60)$$

Führt man die Förderbandgeschwindigkeit v_B ein, so lautet die Gleichung:

$$\bar{x} = \omega \cdot t = \frac{\pi \cdot v_B}{\sqrt{2} \cdot a} \cdot t \quad (61)$$

$$f(t) = a \left(\frac{\sqrt{2}}{8} + \frac{1 \cdot \sqrt{2}}{\pi^2} \sum_{k=1}^n \frac{1 - \cos k \cdot \frac{\pi}{2}}{k^2} \cos \frac{k \cdot \pi \cdot v_B}{\sqrt{2} \cdot a} \cdot t \right) \quad (62)$$

Als Kreisfrequenz ω , der Grundschwingung ergibt sich für $n = 1$:

$$\omega_1 = \frac{2\pi}{T_1} = \frac{\pi \cdot v_B}{\sqrt{2} \cdot a} \quad (63)$$

5.4. Einfluß der oberen Frequenzgrenze auf die Eckenkontur des Abstandshalters

Wie im vorhergehenden Abschnitt wird als vereinfachende Annahme von einer quadratischen Scheibe ausgegangen. Der Abstandshalter liegt im Scheibenpaket zwischen den beiden Scheiben und besteht aus hohlen, geraden Blechprofilen. An den Ecken werden diese mit massiven Eckstücken aus Metallspritzguß zusammengesteckt. Der aus den Blechprofilen so zusammengesteckte Abstandshalter ist ein geschlossenes Gebilde, welches an seiner Außenkontur Ecken aufweist, die im Verhältnis zu den Längenabmessungen sehr spitz sind. Bild 43 zeigt die Eckenkontur. Bei der Festlegung dieser Kontur hat man allein die Erfordernisse der Handfertigung berücksichtigt. Ziel dieses Abschnittes soll es sein, eine Eckenkontur zu entwickeln, die für das vorliegende Verfahren des automatischen Dichtklebens günstiger ist.

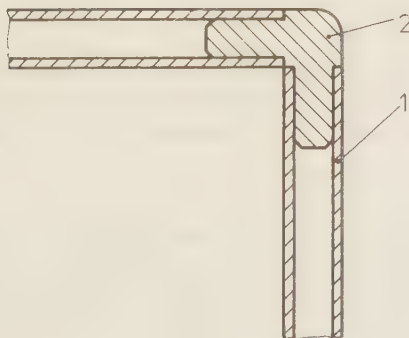


Bild 43 Querschnitt durch den Abstandshalter an der Ecke
vorgesehen für Handfertigung
1 Abstandshalterprofil; 2 Eckstück

Ausgangspunkt zur Entwicklung der besseren Eckenkontur ist die Fourier-Reihe für den Bewegungsablauf einer Spritzgießmaschine. Es zeigt sich hier, daß mit steigendem n -wert, also mit zunehmender Ordnungszahl der noch berücksichtigten n -ten Harmonischen der Grundschwingung, die Kontur an der Ecke immer spitzer und die Abweichungen von den Geraden immer kleiner werden. Für den Fall $n \rightarrow \infty$ entsteht eine ideale Dreieckfunktion. Bild 44 zeigt einige Kurven der Funktion $f(\bar{x})$ nach Gl. (60) unter stufenweiser Steigerung der Ordnungszahl n .

Mit dieser Erkenntnis läßt sich das Kriterium zur Festlegung der günstigeren Eckenkontur angeben. Die Ordnungszahl der n -ten Harmonischen soll nur so groß werden, daß für die Funktion $f(\bar{x})$ die Abweichungen von den Geraden unter einem bestimmten Grenzwert bleiben. Der sich dann durch die Funktion $f(\bar{x})$ an der Spitze ergebende Verlauf soll als neue Eckenkontur verwendet werden. Damit ist der Schwingungsgehalt der Maschinenbewegung nur so weit getrieben, wie es unbedingt erforderlich ist. Die Ecke in Bild 43 benötigt wesentlich höhere Ordnungszahlen n und dadurch höhere Frequenzen zur Darstellung.

Trägt man die Funktionswerte $f(\bar{x})$ punktweise auf, so verläuft die Funktion für ein genügend großes n innerhalb des Bereiches, den die Maßtoleranzen an den geraden Teilen des Abstandshalters ausbilden. Als Kontur des Eckstücks wird dann der Funktionsverlauf genommen, der sich zwischen den beiden geraden Teilen ergibt. In Bild 45 ist die auf diese Weise entwickelte Eckenkontur zu sehen. Die dünnste Stelle $e_{\min}$ des Eckstücks darf dabei ein gewisses Grenzmaß nicht unterschreiten. In Tafel 5 sind Maßangaben zur Eckenkontur angegeben.

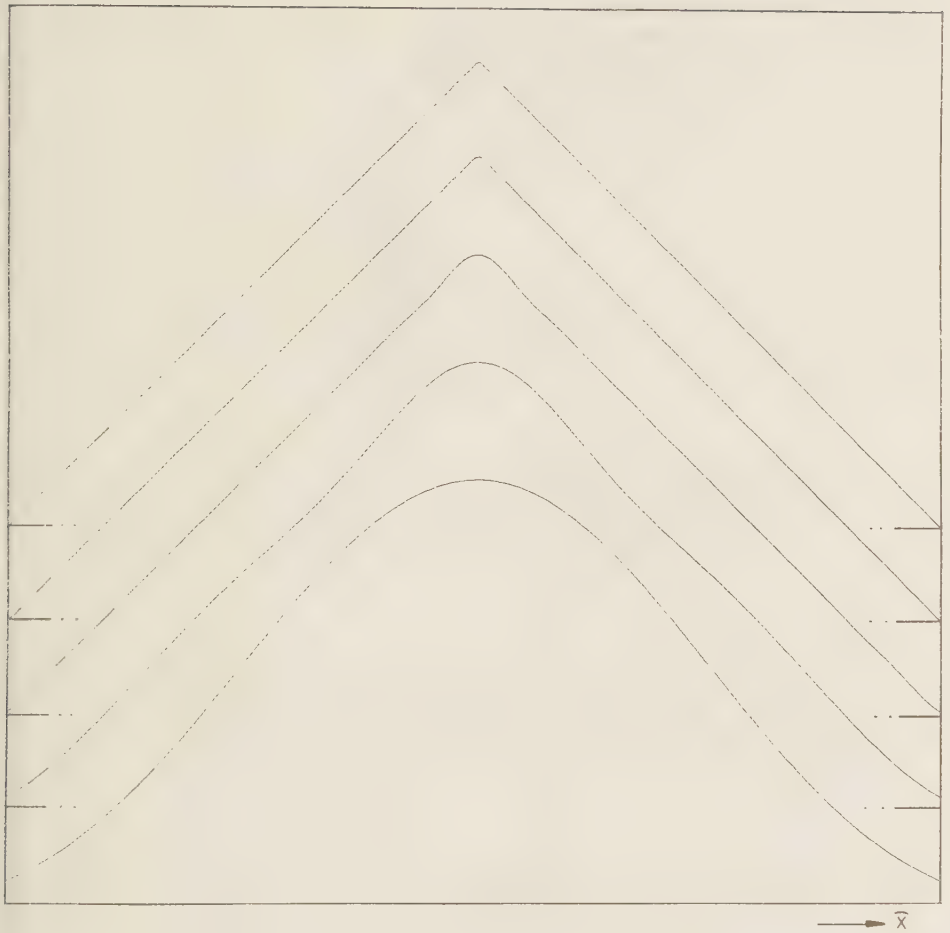


Bild 44 Kurvenverlauf der Funktion $f(\bar{x})$ nach Gl. (60)
für steigende Ordnungszahlen n .
 $n = 3$ (untere Kurve), $n = 9$, $n = 26$, $n = 77$
 $n = 231$ (obere Kurve)

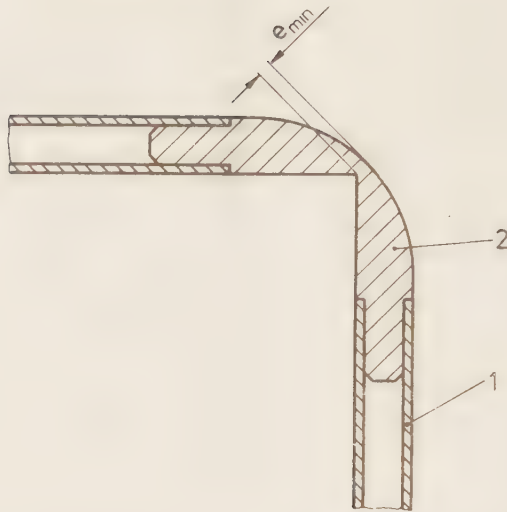


Bild 45 Querschnitt durch das Abstandshalterprofil 1 und das für die automatische Fertigung verbesserte Eckstück 2

Die Ermittlung der Eckenkontur nach Bild 45 erfolgt mit einem entsprechenden Rechenprogramm. Dabei werden folgende Maße berücksichtigt:

Kantenlänge $a = 5000 \text{ mm}$

Dünnste Stelle des Eckstücks $e_{\min} = 5,0 \text{ mm}$

Zulässige Abweichung von den Geraden $\pm 1 \text{ mm}$

Die kleinste Ordnungszahl in Gl. (60), die diese Bedingungen erfüllt, beträgt

$$n_{\min} = 231$$

(64)

Tafel 5

Maßangaben zum
Verlauf der
Eckenkontur

x [mm]	y [mm]
0	0
1,42	1,43
2,83	2,79
4,24	4,09
5,66	5,30
7,07	6,42
8,49	7,44
9,9	8,36
11,31	9,17
12,73	9,87
14,14	10,45
15,56	10,9
16,97	11,23
18,39	11,42
19,80	11,49
21,21	11,42
22,63	11,23
24,04	10,90
25,45	10,45
26,87	9,87
28,29	9,17
29,7	8,36
31,11	7,44
32,53	6,42
33,94	5,30
35,36	4,09
36,77	2,79
38,18	1,43
39,6	0

Bild 46 Konturverlauf (schematisch) des Abstandshalters an der Ecke gemäß den Angaben in Tafel 5



5.5. Amplituden- und Phasenfrequenzgang des Systems Scheibenpaket-Kleberdüse

In den vorhergehenden Abschnitten wird der Frequenzgehalt der Maschinenbewegung hergeleitet und so weit wie möglich verkleinert. Zum Vergleich muß auch der Amplituden- und Phasenfrequenzgang des ausgeführten Systems Scheibenpaket-Kleberdüse experimentell festgestellt werden. Aus beiden Frequenzgängen lassen sich dann anschließend die Grenzen des vorliegenden Verfahrens angeben.

Bild 47 zeigt die vorhandenen Kopplungen zwischen den einzelnen Gliedern in Form von gedämpften Feder-Masse-Systemen.

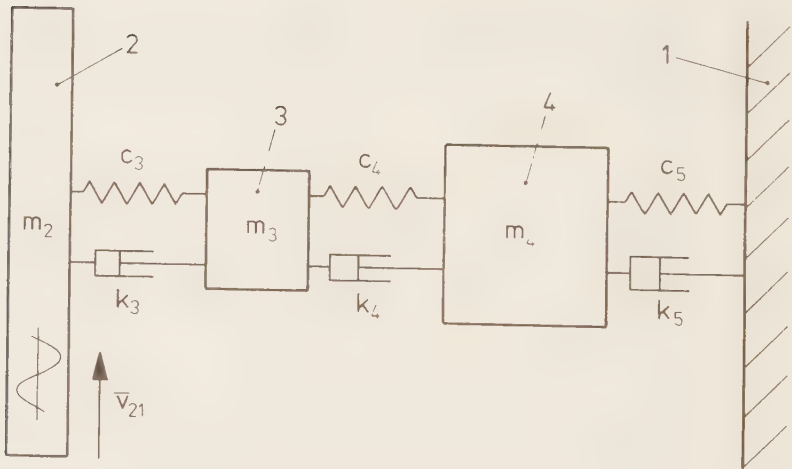


Bild 47 Gedämpftes Feder-Masse System der mit der Geschwindigkeit $\bar{v}_{21}$ bewegten Scheibe bei erzwungenen Querschwingungen

Zwischen dem die Bewegung auslösenden Abstandshalter des Scheibenpakets 2 und der Masse m_3 der Kleberdüse liegt als "Polster" der Kleber in Form einer hydrostatischen Gleitführung. Diese Zwischenschicht ist in ihren dynamischen Eigenschaften darstellbar durch die nichtlineare Feder c_3 und die ebenfalls nichtlineare Dämpfung k_3 . Die Masse m_3 ist gegenüber der Spritzgießmaschine m_4 über die Feder c_4 und die Dämpfung k_4 angekoppelt. Über den Hydraulikzylinder, dargestellt durch die Feder c_5 und die Dämpfung k_5 , ist die Masse m_4 mit der ruhenden Bezugsebene 1 verbunden.

Für das in Bild 47 gezeigte System lassen sich die Bewegungsgleichungen aufstellen. Feder- und Dämpfungskennwerte sind dabei durch Versuche zu ermitteln. Einfacher ist es jedoch, den interessierenden Amplituden- und Phasenfrequenzgang der Kleberdüse m_3 direkt experimentell festzustellen.

Das Schema der Versuchsdurchführung ist bereits in Bild 47 zu sehen. Bewegt man das mit der Förderbandgeschwindigkeit $\bar{v}_{21}$ transportierte Scheibenpaket während des fortlaufenden Kleberauftrages noch zusätzlich in Querrichtung in Form einer harmonischen Schwingung, dann kann man für jede Quererregungsfrequenz die entsprechende Bewegung der Kleberdüse m_3 registrieren.

Für die Versuche ist das Scheibenpaket 2 auf einem Hilfsrahmen gelagert. Dieser Hilfsrahmen wird vom Förderband transportiert und trägt Rollkörper, die eine Querverschiebung des Scheibenpakets ermöglichen. Über einen in der Drehzahl regelbaren Motor mit angeschlossenem Schubkurbelgetriebe wird das Scheibenpaket in harmonische Querschwingungen versetzt. Amplitude und Frequenz sind dabei einstellbar. Mit einem einfachen mechanischen Schreibsystem wird die Erregerschwingung aufgezeichnet.

Ein anderes Schreibsystem von gleichem Prinzip registriert die Bewegung der Kleberdüse m_3 .

In Bild 48 und 49 sind als Ergebnis der Amplituden-Frequenzgang und Phasenfrequenzgang der Kleberdüse m_3 zu sehen.

Zwischen den Bewegungen des Scheibenpakets und der Kleberdüse führt eine Phasenverschiebung von $\epsilon \approx 18^\circ$, wie Versuche bestätigen, noch zu einer einwandfreien Verklebung. Der Einfluß der Masse m_3 , besonders auf den Phasen-Frequenzgang, ist in Bild 49 deutlich zu sehen. Ziel der Weiterentwicklung muß also sein, das Gewicht der Kleberdüse zu verkleinern.

Läßt man eine Phasenverschiebung von $\epsilon = 15^\circ$ zu, ergibt sich nach Bild 49 eine obere Frequenzgrenze von $f_{\max} = 2,4$ Hz.

Nach Gl. (64) beträgt die kleinste Ordnungszahl für die dort entwickelte Eckenkontur $n_{\min} = 231$. Aus der Gleichung

$$\omega_n = 2\pi \cdot f_n = \frac{n \cdot \pi \cdot v_B}{\sqrt{2} \cdot a} \quad (65)$$

folgt die maximal mögliche Förderbandgeschwindigkeit $v_{B\max}$ bei $f_n = f_{\max}$

$$v_{B\max} = \frac{2 \cdot \sqrt{2} \cdot a \cdot f_{\max}}{n} \quad (66)$$

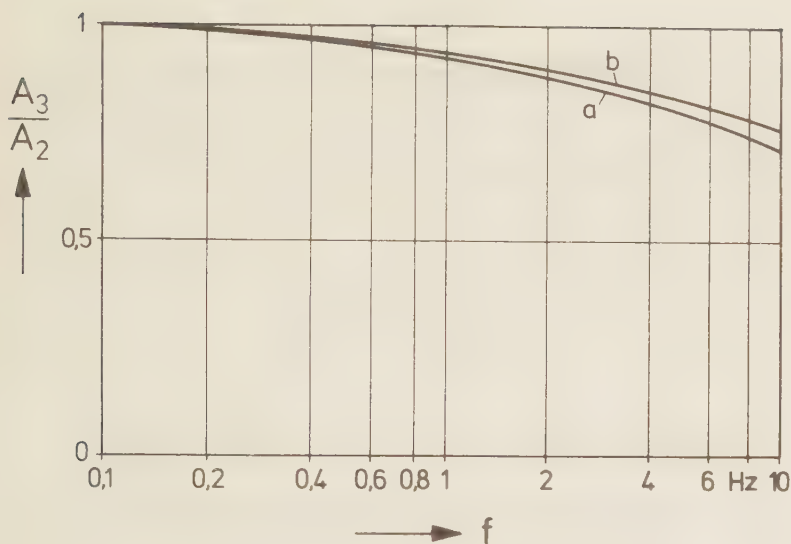


Bild 48 Amplituden-Frequenzgang des Systems Scheibenpaket-Kleberdüse. a) $m_3 = 32 \text{ kg}$ b) $m_3 = 19 \text{ kg}$
Amplitude $A_2 = 2 \text{ mm}$

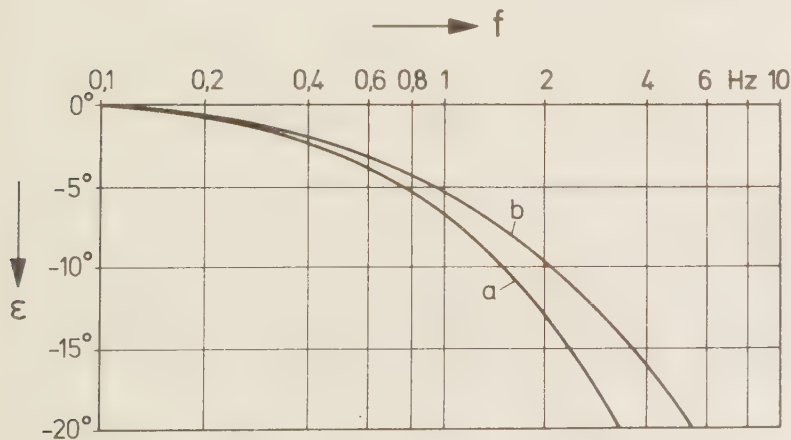


Bild 49 Phasen-Frequenzgang des Systems Scheibenpaket-Kleberdüse. a) $m_3 = 32 \text{ kg}$ b) $m_3 = 19 \text{ kg}$
Amplitude $A_2 = 2 \text{ mm}$

Für eine Kantenlänge von $a = 5000 \text{ mm}$ ergibt sich

$$v_{B\max} = 0,147 \text{ m/sec} \hat{=} 8,82 \text{ m/min} \quad (67)$$

Mit einer Verkleinerung der Masse m_3 der Kleberdüse wird dieser Wert für $v_{B\max}$ weiter ansteigen.

5.6. Schwenkbewegung und Klebermengenstrom an der Ecke

Wegen der Gefahr des Abkühlens von vorauslaufendem Kleber soll die Kleberdüse auch an der Seiteneckenkontur immer unter dem in 5.1. ermittelten Anstellwinkel von $\alpha = 7,5^\circ$ entlanggeführt werden. Unter dieser Voraussetzung erfordert die in 5.4. entwickelte Eckenkontur einen bestimmten zeitlichen Verlauf der Winkelgeschwindigkeit $\bar{\omega}_{34}$ beim Schwenken der Kleberdüse.

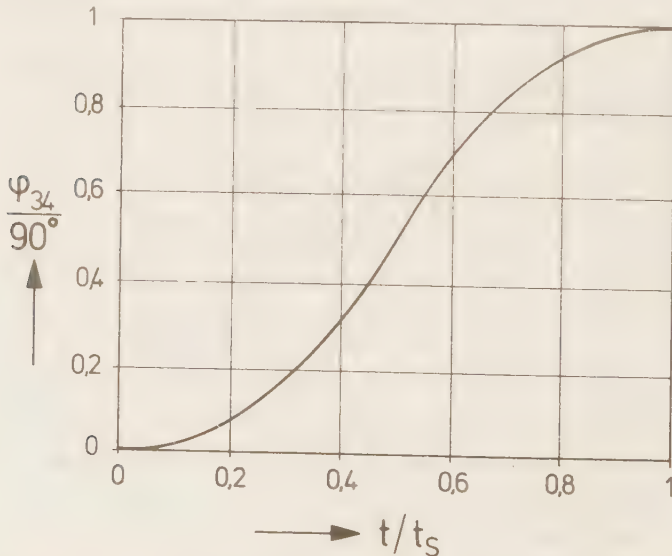


Bild 50 Zeitlicher Verlauf des Schwenkwinkels φ_{34}

Bild 50 zeigt den Verlauf des Schwenkwinkels φ_{34} über der Schwenkzeit t in normierter Form. t_s ist die Schwenkzeit. Der entsprechende Verlauf der Schwenkwinkelgeschwindigkeit $\bar{\omega}_{34}$ ist in Bild 51 ebenfalls in normierter Form zu sehen, wobei $\bar{\omega}_{34\max}$ die größte Geschwindigkeit während der Schwenkung ist.

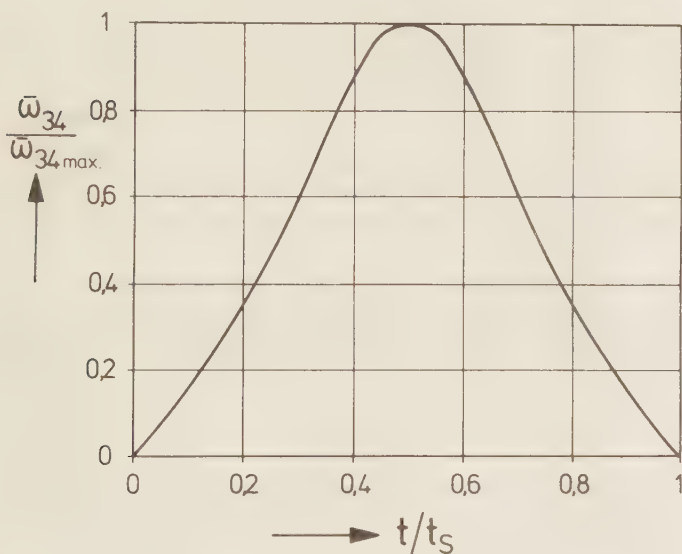


Bild 51 Zeitlicher Verlauf der Schwenkwinkelgeschwindigkeit $\bar{\omega}_{34}$

Der Absolutbetrag von $\bar{\omega}_{34\max}$ ist von der Förderbandgeschwindigkeit v_B abhängig. Es besteht folgender Zusammenhang, wobei der Wert 82,3 zeichnerisch zu ermitteln ist:

$$\bar{\omega}_{34\max} [s] = 82,3 \cdot v_B [m^{-1} \cdot s] \quad (68)$$

Die Schwenkwinkelgeschwindigkeit $\bar{\omega}_{34}$ muß sich, wie Bild 51 zeigt, zeitlich verändern. In der Versuchsanlage wird dies durch die in Bild 52 gezeigte Hydraulikschaltung erreicht.

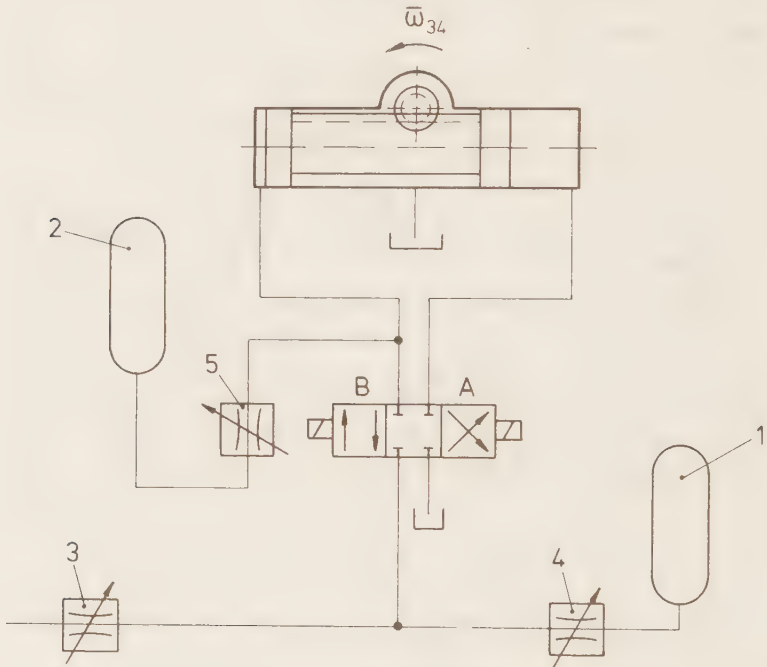


Bild 52 Hydraulikschaltung zur Erzielung der Schwenkwinkelgeschwindigkeit $\bar{\omega}_{34}$

Ein Hydraulikzylinder (Schwenktrieb) wandelt seine translatorische Bewegung über eine Zahnstange in eine drehende um. Speicher 1 ist über die vorgeschaltete Drossel 4 aufgeladen. Steht das 4/3 Wegeventil in Stellung A, hat der Kolben die in Bild 52 gezeigte Lage. Speicher 2 ist ent-

laden, weil über Drossel 5 eine Verbindung zum Tank besteht. Diese Situation entspricht dem noch nicht geschwenkten Zustand der Kleberdüse. Wird jetzt das Ventil in Stellung B geschaltet, bekommt die linke Kolbenseite Druck, indem der Speicher 1 über die Drossel 4 entladen wird. Über die stark zuge drehte Drossel 3 kommt nur wenig Öl dazu. Gleichzeitig ist aber neben dem Hydraulikzylinder noch der entladene Speicher 2 über die Drossel 5 als Verbraucher eingeschaltet. Mit zunehmendem Ladezustand von 2 wird der Hydraulikzylinder mehr Öl bekommen. Die Winkelgeschwindigkeit $\bar{\omega}_{34}$ wird mit zunehmender Aufladung von 2 steigen. Ist die maximale Geschwindigkeit $\bar{\omega}_{34}$ erreicht, haben die Speicher 1 und 2 gleichen Druck und werden anschließend mit weiterem Fortschreiten des Kolbens gemeinsam entladen. Die Geschwindigkeit $\bar{\omega}_{34}$ wird allmählich wieder kleiner. Mit dieser Schaltung läßt sich der in Bild 51 verlangte Winkelgeschwindigkeitsverlauf einstellen, es besteht aber eine große Abhängigkeit von der Öltemperatur. Ein entsprechend gestaltetes Kurvengetriebe läßt ein günstiges Verhalten erwarten.

Die Winkelgeschwindigkeit $\bar{\omega}_{34}$ läßt sich auf einfache Weise meßtechnisch erfassen. Beim Schwenken schreibt ein mit konstanter Drehzahl laufender Synchronmotor auf einem Papier fortlaufend Kreise. Aus dem Abstand der Kreise untereinander läßt sich bei bekannter Synchrondrehzahl der zeitliche Verlauf der Schwenkwinkelgeschwindigkeit $\bar{\omega}_{34}$ sehr genau ermitteln und nötigenfalls einstellen. In Bild 53 ist die Abweichung $\Delta\varphi_{34}$ des Schwenkwinkels vom Sollwert aufgetragen.

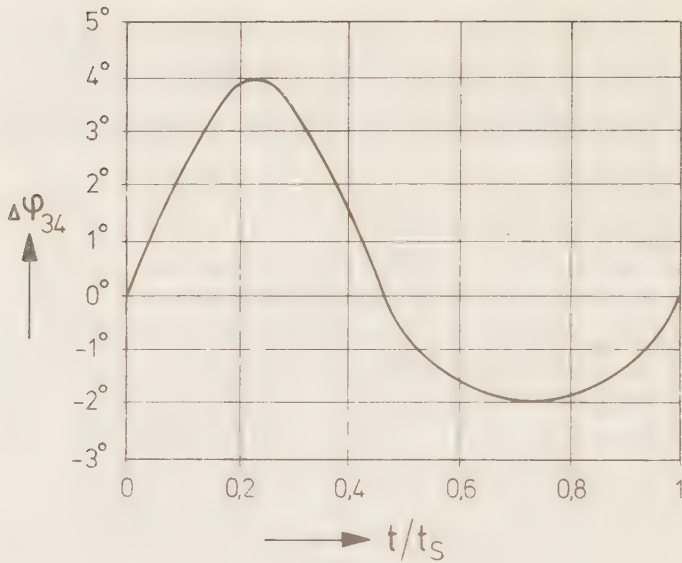


Bild 53 Winkelabweichung $\Delta\varphi_{34}$ vom Sollwinkel beim Schwenken an der Ecke

Mit der Schwenkbewegung der Kleberdüse an der Seitenecke eng verbunden ist die Veränderung des Klebermengenstromes, der während des Abfahrens der Eckenkontur aus der Düse austritt. Setzt man voraus, daß eine konstante Schichtdicke des Klebers auch über der Eckenkontur aufgetragen wird, ist der Mengenstrom des Klebers zeitlich nicht konstant. In Bild 54 werden die Zusammenhänge näher erläutert.

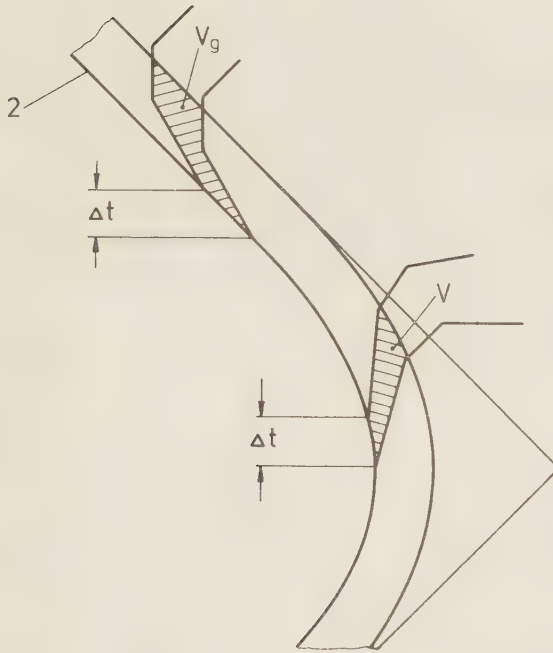


Bild 54 Klebermenge V in der Zeit Δt an der Ecke und auf der Geraden (V_g) beim Abfahren der Bahnkontur des Abstandshalters 2

Dargestellt ist der Konturverlauf des Abstandshalters 2 in der Umgebung der Seitenecke. Das Klebervolumen V_g auf dem geraden Teil der Bahnkontur entsteht durch paralleles Verschieben der Düsenfläche, während auf dem gekrümmten Teil der Eckenkontur das Klebervolumen V durch Verschieben und überlagertes Schwenken der Düsenfläche ausgebildet wird.

In der Zeitspanne Δt wird auf den geraden Teil der Abstandshalterkontur das Volumen V_g an Kleber aufgetragen. An der Eckenkontur muß in der gleichen Zeit Δt das Volumen V zugeführt werden. Für genügend kleine Δt läßt sich der Verlauf des Klebermengenstromes $\dot{V}$ bezogen auf den Mengenstrom $\dot{V}_g$ an der geraden Kontur in normierter Form für die gesamte Eckenkontur ermitteln. Bild 55 zeigt, daß sich für eine konstante Auftragsdicke der Klebermengenstrom nur wenig ändert. Ist gefordert, daß das gesamte Volumen bis zur Scheibenaußenkante aufgefüllt wird, muß der Klebermengenstrom kurzzeitig den doppelten Wert übersteigen.

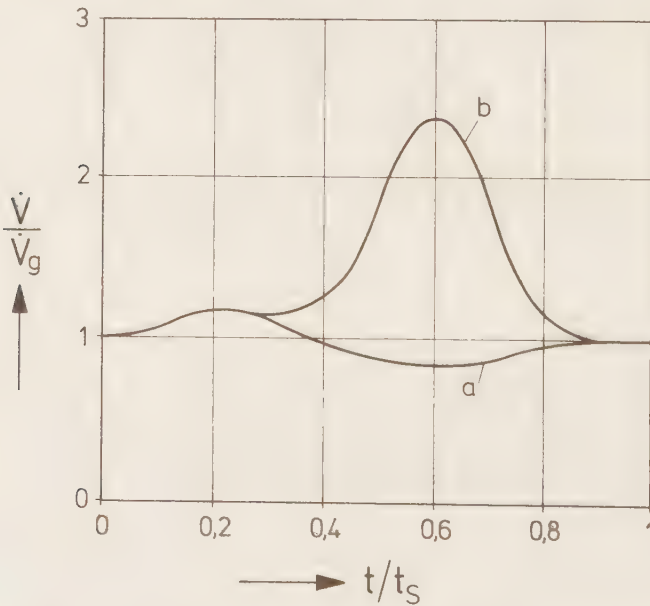


Bild 55 Zeitlicher Verlauf des Klebervolumenstromes $\dot{V}$
an der neuentwickelten Eckenkontur
Kurve a: normale Auftragsdicke $h = 4$ mm
Kurve b: vollständige Eckenausfüllung

5.7. Kleberabtrennung an der Schlußecke

Nach Fertigstellung der Isolierglasscheibe muß die Kleberdüse von der Klebdichtung getrennt werden. Dazu wird die Festigkeit in der Klebdichtung heraufgesetzt, indem ihr Wärme entzogen wird. An der Kleberdüse bleibt durch die fortlaufende Wärmezufuhr die Temperatur konstant.

Beim Abziehen ist die Abtrenngeschwindigkeit von entscheidender Bedeutung. Bild 56 zeigt, wie Fadenlänge und Abtrenngeschwindigkeit zusammenhängen.

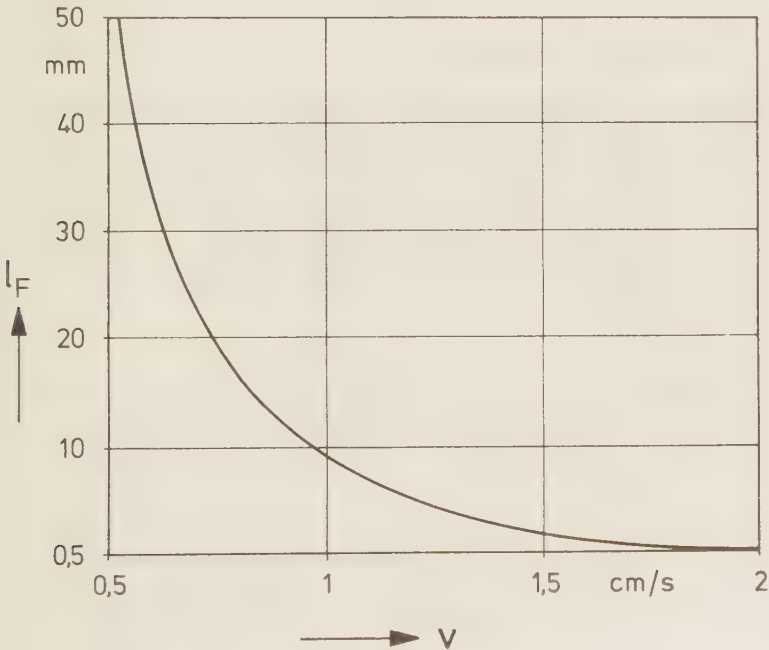


Bild 56 Fadenlänge l_F in Abhängigkeit von der Abtrenngeschwindigkeit v_T beim Kleberabtrennen

Unterhalb einer bestimmten Geschwindigkeit ist ein Trennen nicht mehr möglich. Der entstehende Abziehfaden erkaltet in der Mitte und verfestigt sich dabei. Dadurch zieht er aus der noch weichen Masse der Klebdichtung neues Material heraus. Dieser Vorgang bleibt dann bestehen. Eine kleinste Fadenlänge läßt sich auch bei großer Abtrenngeschwindigkeit nicht unterschreiten. Durch Oberflächenkräfte werden diese kurzen Fäden aber wieder eingeebnet.

6. Untersuchung des Produkts

Die fertige Isolierglasscheibe nach Bild 57 erfüllt ihre Aufgabe solange zufriedenstellend, wie der Taupunkt der eingeschlossenen Luftschicht nicht bis in Bereiche der normalen Umgebungstemperatur ansteigt. Wenn die Scheibennennenseiten von Kondenswasser befeuchtet werden, lösen sich Bestandteile des Glases an und die Scheibe wird undurchsichtig.

Als Beanspruchung auf die eingebaute Isolierglasscheibe wirken Luftdruckschwankungen, Temperaturwechsel und Strahlung ein. Diese wirken jahrelang auf die Scheibe ein. Die Hauptschwierigkeit besteht nun darin, Untersuchungsmethoden zu finden, die diese große Zeitspanne abkürzen. Die verschiedenen heute angewandten Methoden sind nicht genormt. Die beiden wichtigsten sind in den folgenden Abschnitten genannt.

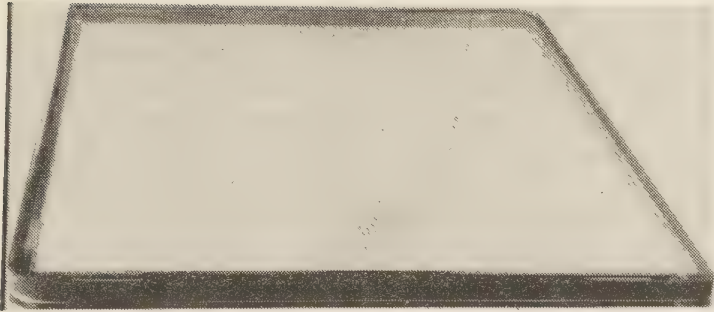


Bild 57 Vom entwickelten Maschinensystem gefertigte Isolierglasscheibe der Größe 500 mm x 400 mm, Glasstärke DD = 4 mm. Abstandshalter und Glasscheiben sind mit kurzen Klebstreifen fixiert. Anschließend wird die Klebdichtung von der Anfangsecke (im Bild rechts unten) in zwei Teilsträngen in die Randfuge eingebracht. Zur besseren Sichtbarkeit der Klebdichtung an den Seitenecken (im Bild links unten und rechts oben) sind die überstehenden Glaskantenecken abgetrennt worden.

6.1. Testmethoden für Isolierglasscheiben.

a) Winddruck-Wechselbelastprüfung

Entsprechend den Umgebungsverhältnissen von in Hochhäusern eingebauten Isolierglasscheiben wird bei dieser Methode die Scheibe mit Winddruckwechseln beaufschlagt.

Kriterium für das Bestehen der Prüfung ist der Verlauf des Taupunktes der Luftzwischen-schicht.

Zur Versuchsdurchführung wird die Isolierglasscheibe in der Größe von 1700 mm x 1200 mm bei 12 mm Abstandshalterdicke Winddruck-Lastwechseln von unterschiedlicher Höhe ausgesetzt. Die Staudruckbereiche liegen zwischen 200 und 1000 N/m², während die Lufttemperaturen von -20° C bis +70° C reichen. Die Isolierglasscheiben werden in normale Fensterrahmen eingeglast. Nach Beendigung jeder Druckstufe werden die Taupunkte gemessen und der Kantenverbund auf mechanische Beschädigungen hin untersucht. In Bild 58 sind Druckstufungen und Lastwechselzahl aufgezeichnet.

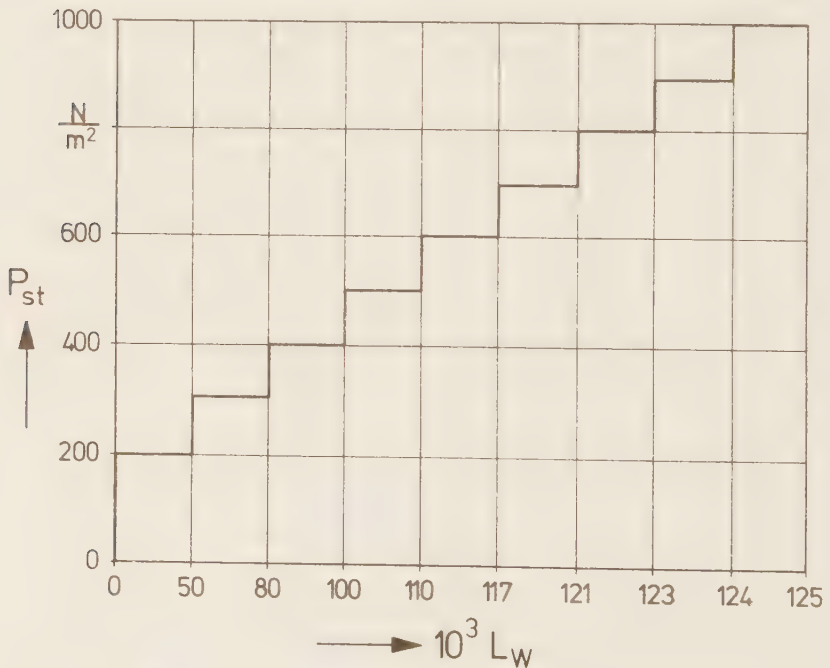


Bild 58 Staudruckstufen p_{St} und Lastwechselzahl L_W beim Winddruckversuch

b) Druckwechselprüfung

Bei dieser Methode werden in einer hermetisch verschlossenen Kammer Druckwechsel auf die Isolierglasscheibe gegeben. Die Umgebungstemperatur kann beliebig eingestellt werden. Üblicherweise werden Scheibenmaße bis zu 1700 mm x 1200 mm überprüft. Die Scheibe kann mit ihrer Unterkante in ein Wasserbad gestellt werden. Damit läßt sich der in der Praxis auftretende Fall nachahmen, wenn die eingebaute Isolierglasscheibe innerhalb ihres Rahmens mit der Unterkante im heruntergelaufenen Regenwasser steht.

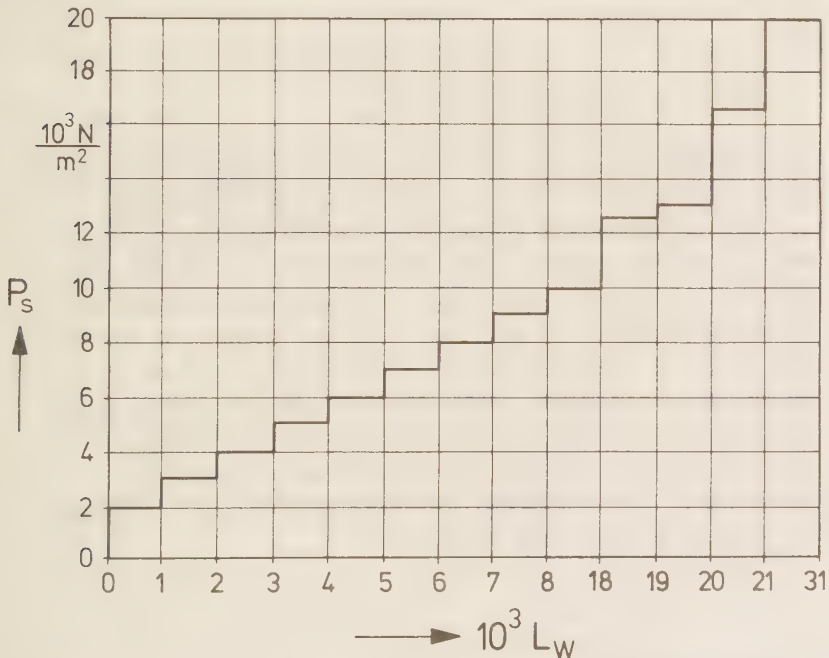


Bild 59 Statische Druckstufen p_s und Lastwechselzahl L_w beim Druckwechselversuch

Durchgeführt wird diese Prüfung mit Druckwechseln von $\pm 2 \cdot 10^3$ bis $\pm 20 \cdot 10^3 \text{ N/m}^2$. Es werden insgesamt $3,1 \cdot 10^4$ Lastwechsel gefahren. Da die Kammer hermetisch dicht ist, stellt sich durch das Wasserbad eine relative Luftfeuchtigkeit von 100 % ein. Bild 59 zeigt die Aufteilung der Drucklastwechsel.

Die Prüfung der Isolierglasscheiben mit Druckwechselbeanspruchung stellt eine Extrembelastung dar, mit der sich Schwachpunkte einer Fertigungsmethode besser herauschälen sollen.

6.2. Ergebnis der Scheibenprüfung

Der Versuchsaufbau für die Druckwechselprüfung ist einfacher als der der Winddruckprüfung. Im vorliegenden Fall werden daher die gefertigten Isolierglasscheiben in einer Druckwechselkammer getestet. Weil sich während der Prüfung herausstellt, daß der verwendete Schmelzkleber wasserempfindlich ist, wird auf das Wasserbad an der unteren Kante verzichtet. Die vereinfachte Prüfung in der Druckwechselkammer haben die auf der neuentwickelten Fertigungsanlage hergestellten Isolierglasscheiben bestanden. Das Dichtkleben der Scheibenpakete erfolgt einwandfrei. Die Maßnahmen zur Verbesserung der Klebung erweisen sich damit als richtig.

7. Zusammenfassung

In zunehmendem Maße verlangen gesetzliche Verordnungen zur Energieeinsparung und zur Schalldämmung den Einbau

von Isolierglasscheiben. Hergestellt werden diese heute fast überall noch in Handarbeit, lediglich einzelne Arbeitsgänge sind teilautomatisiert. Das Dichtkleben als entscheidende letzte Phase wird ausschließlich von Hand vorgenommen.

Aufgabe der vorliegenden Arbeit ist es, eine automatisch arbeitende Maschine zu entwickeln, mit der das Dichtkleben der Isolierglasscheiben maschinell erfolgt. Bei der Konstruktion wird methodisch vorgegangen, um auch neuartige Lösungen erfassen zu können. Das Ergebnis dieser logisch-physikalisch orientierten Konstruktionsmethode ist das beschriebene Maschinensystem zur Herstellung von geklebtem Mehrscheibenisolierglas.

Eine Überprüfung des Produkts Isolierglas bestätigt, daß das Dichtkleben einwandfrei erfolgt. Eine Untersuchung des Maschinensystems offenbart die Verfahrensgrenzen des vorliegenden Prototyps und zeigt Wege auf, diese Grenze zu höheren Produktionsgeschwindigkeiten hin zu verschieben.

8. Schrifttum

- [1] VDI-Richtlinie 2222, Blatt 1: Konzipieren technischer Produkte. VDI-Verlag Düsseldorf (1977)
- [2] Seifert, H.: Maschinenkonstruktion, Vorlesungsmitschrift, Ruhr-Universität Bochum WS 1976/77
- [3] Rodenacker, W.G.: Methodisches Konstruieren. Konstruktionsbücher Band 27. Berlin, Heidelberg, New York, Springer (1970). 2. Aufl. 1976
- [4] Rodenacker, W.G.; Claussen, U.: Regeln des Methodischen Konstruierens. Mainz, Krauskopf 1973/74
- [5] Pahl, G.; Beitz, W.: Konstruktionslehre. Berlin, Heidelberg, New York, Springer 1977
- [6] Koller, R.: Konstruktionsmethode für den Maschinen-, Geräte- und Apparatebau. Berlin, Heidelberg, New York, Springer 1976
- [7] VDI-Richtlinie 2222, Blatt 2 (Entwurf): Erstellung und Anwendung von Konstruktionskatalogen. VDI-Verlag Düsseldorf (1977)
- [8] Koller, R.: Qualitative Konstruktion, von der Effektvariation bis zur Darstellung der Prinzipiellösung. VDI-Z 115 (1973) S. 309 - 317
- [9] Ewald, O.: Lösungssammlungen für das methodische Konstruieren. VDI-Verlag Düsseldorf (1975)

- [10] Roth, K.: Aufbau und Handhabung von Konstruktionskatalogen. VDI-Berichte Nr. 219, VDI-Verlag Düsseldorf (1974)
- [11] Schenkel, G.: Kunststoff-Extrudertechnik, München, Carl Hanser 1963
- [12] Hink, W.: Grundzüge der Spritzgießtechnik. Speyer, Zehner u. Hüthig 1971
- [13] Michel, M.: Adhäsion und Klebtechnik. München, Carl Hanser 1969
- [14] VDI-Richtlinie 2225: Technisch-wirtschaftliches Konstruieren. Blatt 1, VDI-Verlag Düsseldorf (1977)
- [15] v. Guionneau, J.; Schenkel, G.: Experimentelle Untersuchungen am Modell eines Entgasungsextruders. Kunststoffe 62 (1972) S. 245 - 249
- [16] Lenk, A.: Elektromechanische Systeme, Band 1, Systeme mit konzentrierten Parametern. Verlag Technik, Berlin (1973) 2. Auflage
- [17] Dubbel, Taschenbuch für den Maschinenbau, Band I, 13. Auflage. Berlin, Heidelberg, New York, Springer 1970
- [18] Guillon, M.: Hydraulische Regelkreise und Servosteuerungen. München, Carl Hanser 1968

9. Formelzeichen und Einheiten

Zeichen	Einheit	Bedeutung
a	m	Kantenlänge der Glasscheibe
a_k	-	Fourier-Koeffizient
A	m	Schwingungsamplitude
A_D	m^2	Kleberdüsenfläche
b	m	Kantenlänge der Glasscheibe
b_D	m	Breite der Kleberdüsenfläche
b_k	-	Fourier-Koeffizient
c	-	Konstante der Geradengleichung
c	N/m	Federkonstante
e_{min}	m	Mindestdicke des Eckstücks
f	1/s	Frequenz
F_D	N	Andruckkraft der Kleberdüse
g	-	Gerade
h	m	Höhe des Kleberauftrags
Δh	m	Abhebung der Kleberdüse
k	-	Laufzahl der Fourier-Koeffizienten
l	m	Länge
l_D	m	Länge der Kleberdüsenfläche
l_F	m	Fadenlänge
LW	-	Lastwechselzahl
m	-	Anstiegskonstante der Geradengleichung
m	kg	Masse
$\dot{m}$	kg/s	Mengenstrom

Zeichen	Einheit	Bedeutung
n	-	Ordnungszahl der Oberschwingungen
$n_{\min}$	-	Mindestwert für Ordnungszahl der Oberschwingungen
p_D	N/m^2	Bezogene Andruckkraft der Kleberdüse
p_s	N/m^2	Statischer Scheibenprüfdruck
p_{st}	N/m^2	Stauprüfdruck der Scheiben
Δp	N/m^2	Druckdifferenz
r	m	Radius
s	m	Strecke
t	s	Zeit
$t_{\odot}$	s	Schwenkzeit an der Ecke
Δt	s	Zeitintervall
T_1	s	Periodendauer der Grundschiwingung
v	m/s	Geschwindigkeit
v_E	m/s	Förderbandgeschwindigkeit
v_T	m/s	Trenngeschwindigkeit
V	m^3	Volumen
$\dot{V}$	m^3/s	Kleber-Volumenstrom
$\dot{V}_c$	m^3/s	Kleber-Volumenstrom an der geraden Kante
x	-	Abszisse im Koordinatensystem
$\bar{x}$	-	Abszisse im Bogenmaß
y	-	Ordinate im Koordinatensystem
α	grad	Anstellwinkel der Kleberdüsenfläche
ε	grad	Phasenwinkel der Schwingung

Zeichen	Einheit	Bedeutung
η	Ns/m^2	Dynamische Kleberzähigkeit
φ	grd	Schwenkwinkel
$\Delta\varphi$	grd	Schwenkwinkelabweichung
ω	1/s	Kreisfrequenz
$\bar{\omega}$	1/s	Winkelgeschwindigkeit

Lebenslauf

Persönliches: Dietrich Haensel
geb. 11.4.1939 in Dresden
verheiratet mit Heidrun Haensel
geb. Jung
2 Kinder

Eltern:
Dr. med. Günther Haensel und
Vera Haensel, geb. Schwarze

Schulbildung: 1945 - 1950 Volksschulen in Leuna, Kreis
Merseburg und Obersieckte bei Braunschweig
1950 - 1960 Gauß-Schule, Städt. Gymnasium
in Braunschweig
Abitur Ostern 1960

Studium: 1960 - 1968 Maschinenbau
TU-Braunschweig
Fachrichtung Fahrzeugtechnik
Diplom-Hauptprüfung August 1968

Berufstätigkeit: 1968 - 1971 Konstruktionsingenieur bei der
Fa. MAN - Augsburg, Konstruktionsabteilung
für Großdieselmotoren, und in der Fa.
BBC - Mannheim, Konstruktionsabteilung
des Geschäftsbereiches Verkehr

1971 - 1978 wissenschaftlicher Assistent
am Lehrstuhl für Maschinenelemente und
Getriebetechnik der Ruhr-Universität
Bochum und ab Oktober 1978 wissenschaft-
licher Angestellter

